

GUIDANCE FOR ENTRANCE EXAM

2018.06.02 (SAT)

数理系研究部門

地球計測系研究部門

物質科学系研究部門

災害科学系研究部門

地震予知研究センター

火山噴火予知研究センター

海半球観測研究センター

高エネルギー素粒子地球物理学研究センター

巨大地震津波災害予測研究センター

地震火山噴火予知研究推進センター

観測開発基盤センター

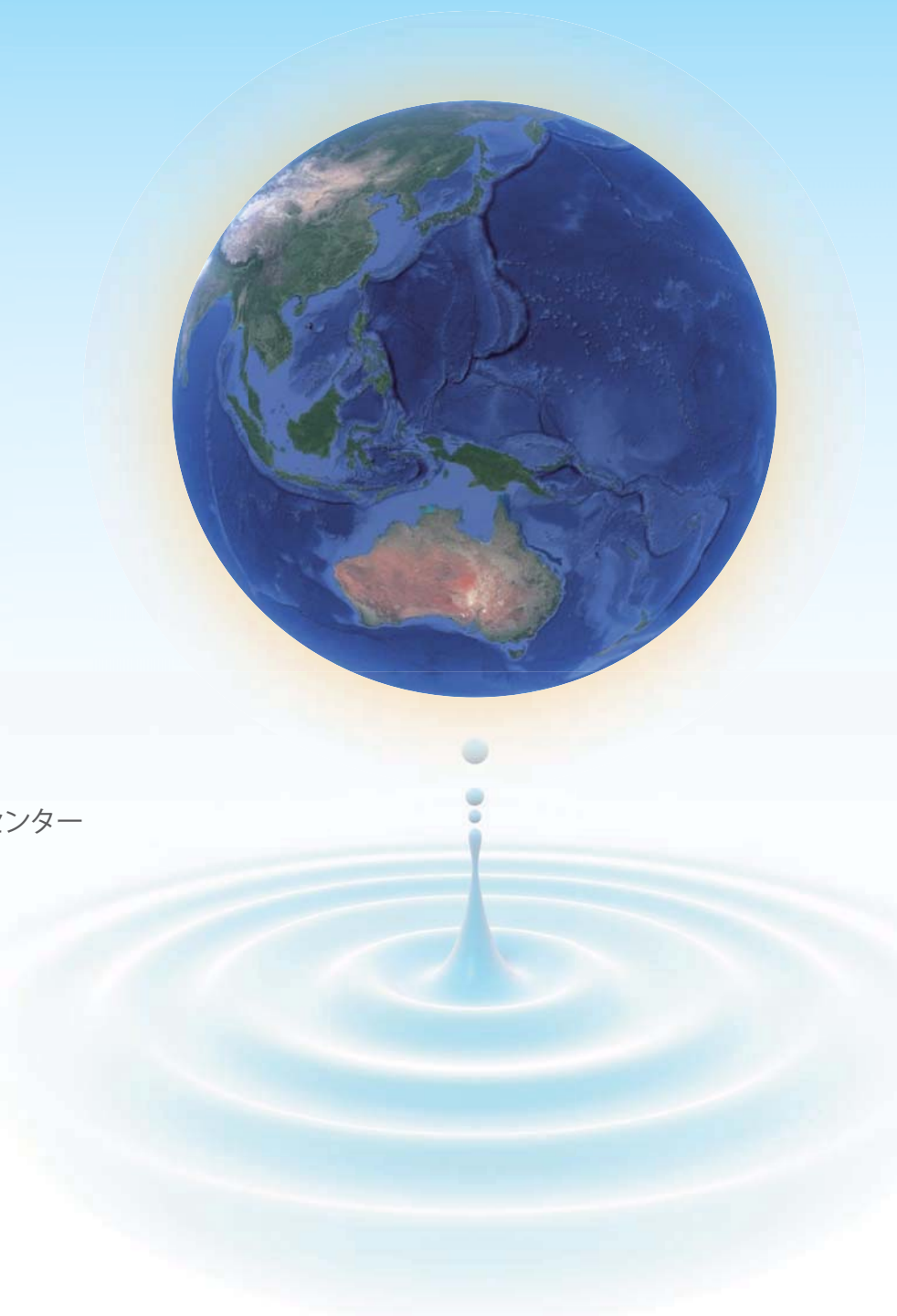
地震火山情報センター



東京大学 地震研究所

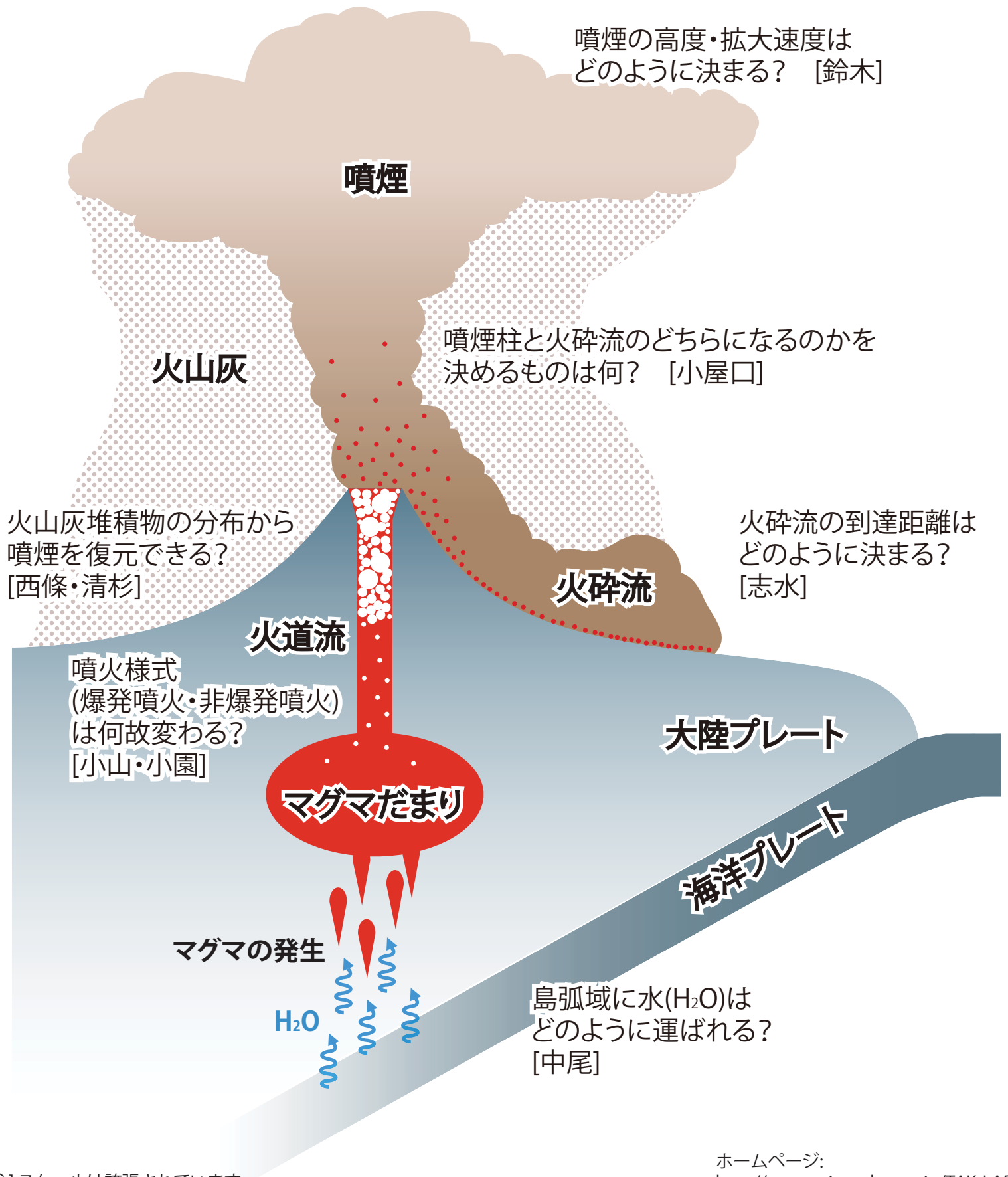
Earthquake Research Institute

The University of Tokyo



火山モデリング研究グループ (小屋口・鈴木研究室)

数値シミュレーションや解析モデリングによって、
火山噴火現象の物理過程について研究しています。

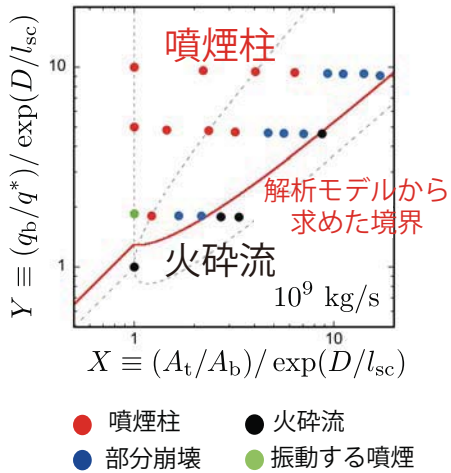


メンバーの研究内容

「火砕流発生条件の理論・数値研究」

小屋口剛博 (教授)

tak@eri.u-tokyo.ac.jp

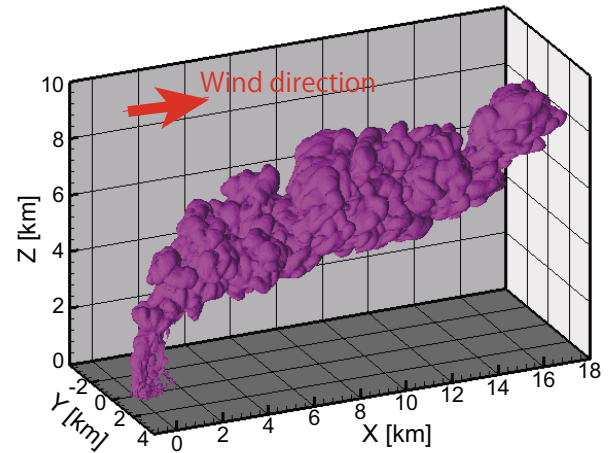


火砕流が発生する条件の数値計算結果

「火山噴煙の数値シミュレーション」

鈴木雄治郎 (助教)

yujiro@eri.u-tokyo.ac.jp

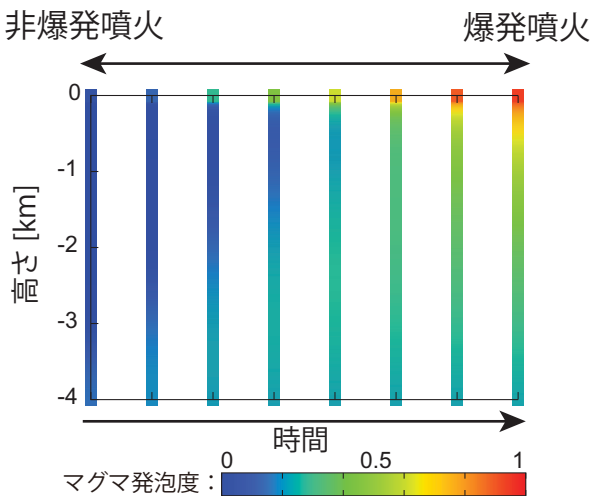


スパコンを用いた噴煙計算の結果

「火道流の数値シミュレーション」

小山健太郎 (修士課程 2年)

・小園誠史 (共同研究者, 東北大学・准教授)

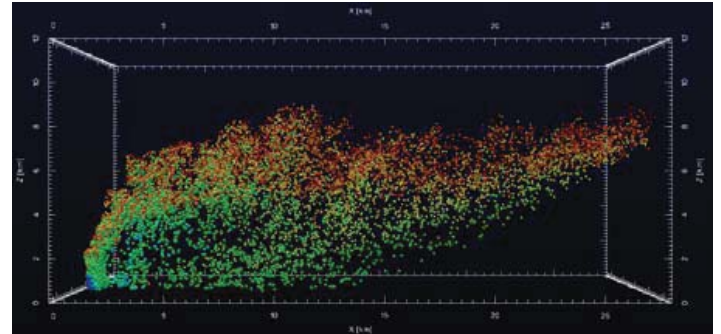


火道内流の非定常計算の結果

「火山灰堆積物の逆解析」

西條祥 (修士課程 1年)

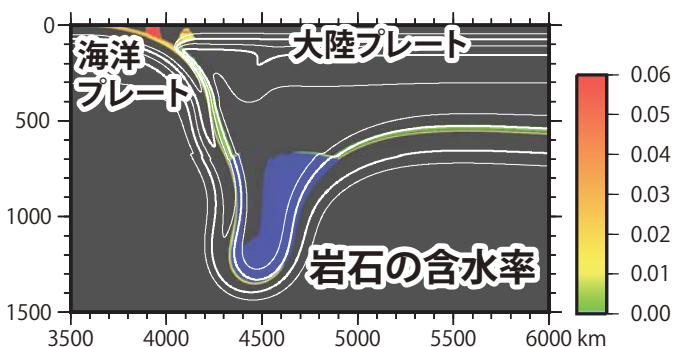
・清杉孝司 (共同研究者, 神戸大学・助教)



火山灰輸送の3次元シミュレーション結果

「マントル対流 - 物質輸送モデリング」

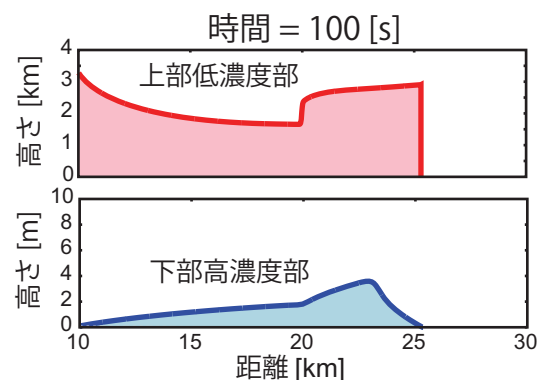
中尾篤史 (特任研究員)



マントル中の水輸送シミュレーションの結果

「火砕流の数値シミュレーション」

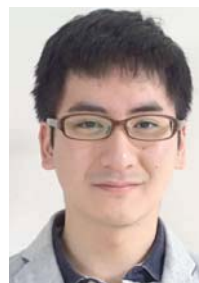
志水宏行 (特任研究員)



二層浅水波モデルによる大規模火砕流の計算結果

地震発生モデリング研究 担当教員：亀伸樹

亀 伸樹（准教授）、日下部哲也（D3）、木村将也（D1） 渡邊信吾（M1）



地震は地下の断層が破壊することにより起きます。地震の起こり方は、みなさんご存じのようにたいへん複雑です（強い非線形性を持っているようです）。そのため、大地震の発生予測手法を確立するためにはまだまだ難関が待ち受けていることでしょう。私たちは、地震の起こり方はなぜ複雑なのか、どのように複雑なのか、地震の発生の予測は可能かなどに関心を持っています。

亀研では、実験不可能な地震発生過程に対して、地震発生の物理モデルを考え、それを方程式で表し、紙と鉛筆をつかって理論的に、あるいはコンピューターシミュレーション手法を用いて調べ、その背後にある物理機構を解き明かそうとしています。また深層学習の地震学データへの適用可能性についても勉強をはじめました。研究を始めるにあたり、地震学の知識は問いません。物理と数学が好きな人は気軽に研究室を見学しにきてください。2018.05.08 亀

【連絡先】地震研 2 号館 2-403 号室 亀 伸樹、見学希望日をメールで連絡ください

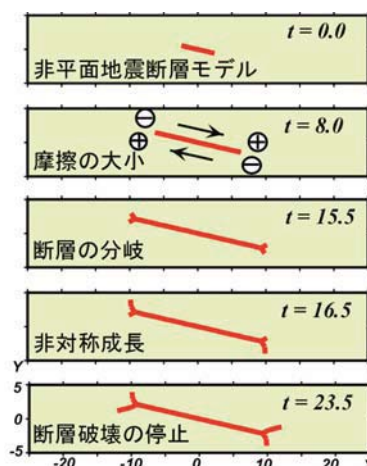
E-mail: kame@eri.u-tokyo.ac.jp, Homepage: www.eri.u-tokyo.ac.jp/kame

研究紹介

◎複雑形状断層における地震破壊ダイナミクスの研究（亀）◎

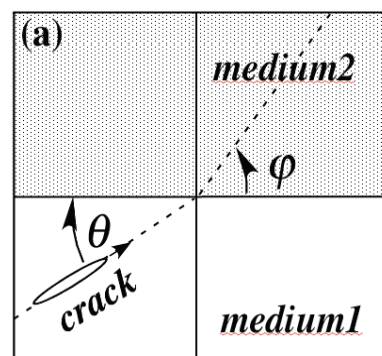
地震発生の最中の高速破壊現象（破壊速度 3000m/s, 破壊継続時間 100 秒）を、数値シミュレーションに基づき評価する研究をすすめています。「現実的な非平面断層形状」をモデル化し、運動方程式の積分方程式計算により高速破壊を模擬し、一旦はじまった動的破壊が断層面上のどこで停止するかを調べます。発生した地震の断層面形状との比較により、地震発生機構の理解を深め、地震の規模・強い揺れの予測に向けた研究をすすめています。

図：断層帯の複雑な幾何学構造を考慮できる画期的な破壊計算手法を開発し、断層破壊が自動的に停止できるモデルを提案しました。これから、大きな地震は、小さな地震とは基本的に異なるということもわかってきました（非線形性に起因します）。



◇不均質媒質中の地震破壊ダイナミクスの研究（日下部さん）◇

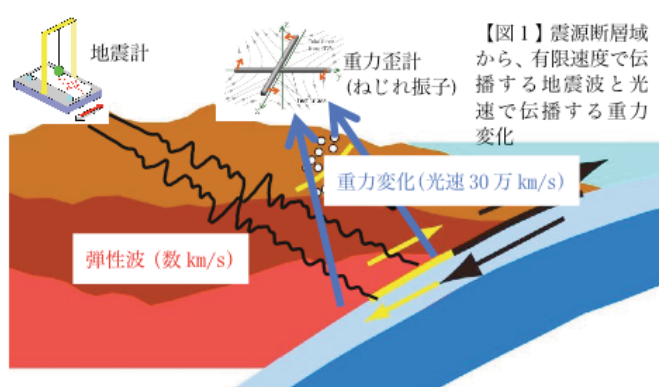
最先端の観測研究から地殻不均質と対応する地震発生過程がわかってきました。一方、地震破壊の理論的研究は均質媒質に限られたままです。そこで新たに不均質媒質中における動的破壊の解析手法を開発しています。これを用いて地殻の不均質性がどの程度、地震の破壊過程をコントロールしているか解き明かそうとしています。将来、断層帯周辺の地殻構造から地震発生の想定シナリオに結びつけることができればと考えています。



図：媒質境界を横切る破壊

★地震発生に伴う動的重力変化検出の理論的研究（木村さん）★

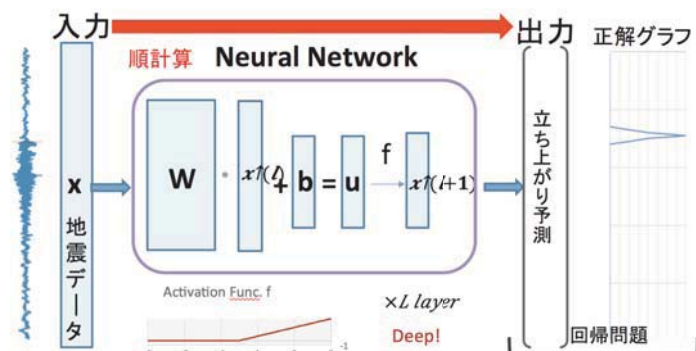
地震の動的断層破壊に伴う重力ポテンシャルの変動の理論を学び、地震波より遙かに速く光速で伝わる重力情報を用いた地震発生検知の実現可能性をさがります。まず、1) 震源理論：無限均質弾性体における点震源が引き起こす重力ポテンシャル変動の導出、2) 重力理論：重力加速度ベクトルの導出と期待値評価、を学びます。データ解析から人類初となる「重力変化による地震発生の検出」を試みました。図：光速で伝わる地震重力変化の模式図



【図1】震源断層域から、有限速度で伝播する地震波と光速で伝播する重力変化

☆深層学習を用いた地震学データ解析（H29 地球物理特別研究 4 年西條君+西田先生）☆

深層学習とは、多層ニューラルネットワークを用いた機械学習方法である。計算機の性能向上と学習設定のノウハウの蓄積により、情報工学分野で近年目覚ましい発展を遂げている。深層学習で訓練されたネットワークは高い処理能力を持ち、従来機械学習が使われていなかった分野への応用可能性を有する。現在、地震学データの解析への適用可能性が世界的なテーマである。今回は地震発生検出を試みたが、これからは地震活動の予測など試していきたい。



図：地震波形初動検出のための深層学習ニューラルネットワーク

☆巨大地震発生サイクルシミュレーション研究（H27 特別研究員 大谷さん）☆

（現在、産総研活断層火山研究部門地震テクトニクス研究グループ）

プレート運動（ 10^{-9} m/s）で駆動され繰り返す海溝型巨大地震サイクル（1000 年）のシミュレーション研究をすすめています。現実的な沈み込み帯構造をモデル化して、これを高速計算できるようにする大規模計算手法の枠組み（プラットフォーム）自体を、新たに開発しています。一見多様とも思える微動・スロースリップ・巨大地震のマルチスケールすべり現象の背後にある物理機構を包括的に理解することにより、地震発生予測への手がかりを得ようとしています。図：新たな地震サイクルシミュレーションモデルの模式図

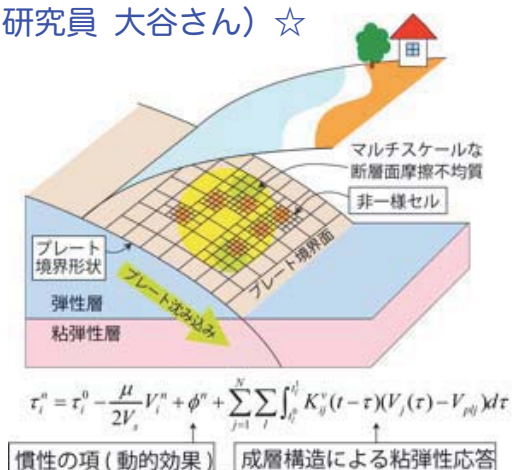


図 8 新たな ECS 概念図

東京大学地震研究所 数理系研究部門 西田究

研究テーマ：大気・海洋現象が引き起こす固体地球の弾性振動現象：
～ 大気・海洋・固体地球を駆け巡る波 ～

研究方針：他の人にはノイズ、私には宝の山

私たちは、大量の地震計・気圧計・水圧計などのデータを丹念に解析し、ノイズとされていた記録の中から新たな振動現象を探り当て、その謎の解明を目指しています。その際、大気-海洋-固体地球の大きな枠組みで現象を捉える事が重要です。具体的な研究テーマは大きく分けて2つあります。それぞれ、(1)地震以外が引き起こす地球の振動現象の励起メカニズムについての研究、(2)地震以外の地球の振動を使って地球内部構造推定とその時間変化の検出です。

何が地球を揺すっているのか？

常時地球自由振動の発見

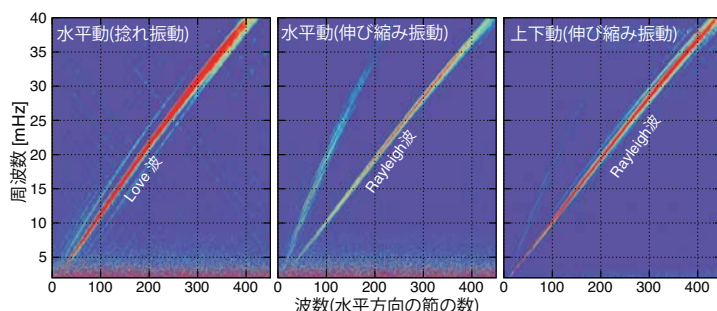
ひとたび大きな地震が起ると長周期の地震波が地球を何周も伝わる様子を観測することができます。観測された地震波は定在波の重ね合わせとして取り扱うことができ(地球自由振動と呼ばれます)、周波数解析によって多くの固有周波数を測定することができます。初めて地球自由振動の存在が検出されたのは1960年チリ地震時の歪み計記録からでした。それ以降地球自由振動の観測例は蓄積され、測定された固有周波数から地球内部構造を推定する研究がさかんになりました。

チリ地震での検出以前には、大気擾乱など非地震性の現象が地球自由振動を励起する可能性も検討されていました。しかし当時の観測精度が足りず、検出は失敗に終わりました(Benioff *et al.*, 1959)。チリ地震での検出以降は、地震活動が静穏な期間のデータは顧みられなくなりました。この Benioff らの試みは約 40 年後に再び日の目を見ることになります。

太陽では、表層付近の乱流が周期 5 分程の音波を励起し続けている事が知られています。小林 (1996) は同様なメカニズムが、地球・火星・金星に対しても有効ではないか考えました。大気擾乱の大きさを理論的に見積り、大気擾乱が観測可能なレベルの振動を引き起こしていると予想しました。それを受け 1998 年に名和らは、南極・昭和基地の超伝導重力計のデータを調べ、地震活動が静穏な期間においても、周期数百秒の帯域で固体地球が振動し続けている現象を発見しました。常時地球自由振動の発見です。南極のデータによる検出に続き、世界中の観測点で相次いで検出され、その存在は確定的となりました。現在では 600 以上の観測点で検出されています。地震波の伝播をみてとれます。発見の際、我々の研究グループを含め日本のグループが主要な役割を果たしてきました。

新たな謎：海の波は地球を捻っている！

励起された地震波を詳しく調べてみると、Rayleigh 波より Love 波が大きい事が分かってきました(上図)。これは大気・海洋現象が固体地球を捻っていることを意味しています。直感とは反するこの現象はどのよう



に説明する事が出来るのでしょうか？答は海の凸凹にあります。海の波の波長と海底地形の凸凹の水平スケールが一致すると、結果として固体地球を捻る力が働き Love 波が励起されるのです。このように海洋重力波が励起に深く関わっている事が分かってきました。海底水圧計・地震計の観測から、その励起メカニズムの解明を目指しています。

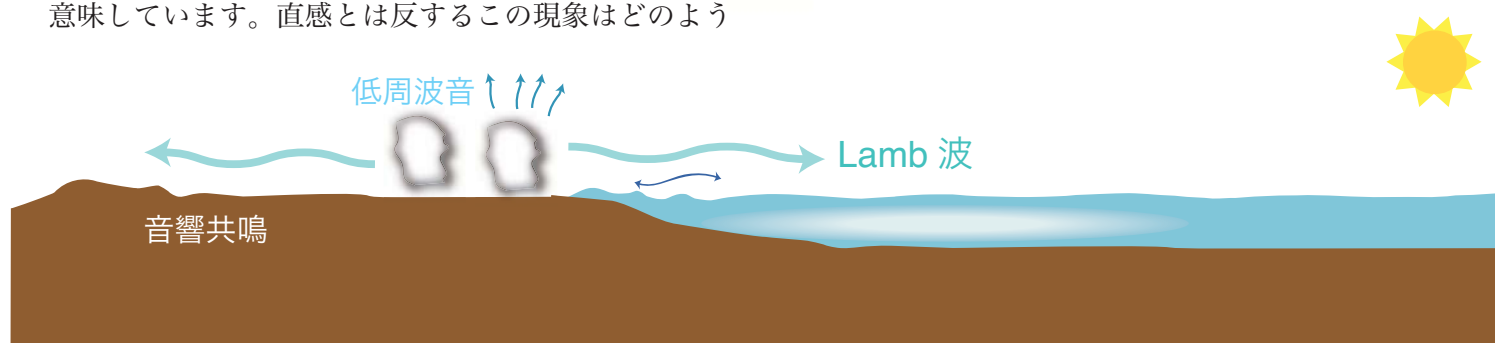
奇妙な波：Lamb 波は常に地球を駆け巡っている

Lamb 波とは水平方向には音波として振るまい、鉛直方向には静水圧平衡に達している波動です。我々は、アメリカ大陸に展開されている気圧計 (300 点以上) を解析し、初めてその存在を明らかにしました。カップリングを通じて熱圏の重力波に変換していると予測されています。また周期 300 秒付近では、固体地球と大気音波が共鳴振動している事も知られています。大気・固体地球全体に興味のある学生大歓迎です。

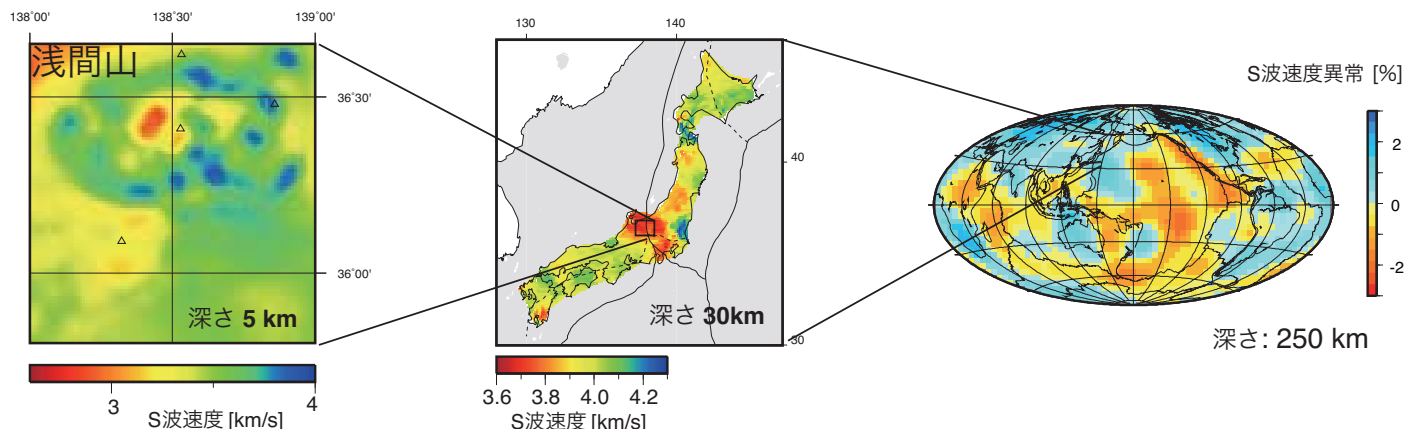
地震計で大西洋の嵐を追跡する

2014 年 12/9 爆弾低気圧が大西洋で発生しイギリスやアイルランドに被害をもたらしました。その際に海洋波浪により発生した P 波は地球深部を伝播し日本にまで到達しました。現在地震計のデータから、海洋波浪活動の全球的なモニタリングを目指しています。

現在、どのように大気・海洋現象が固体地球を揺すっているかに関して未解明な事が多く、大気-海洋-固体地球の大きな枠組みでの研究が進行中です。一緒に謎に迫ってみませんか？



“地震”以外の揺れを使って地球内部構造を探る!



地震波干渉法: 地震を使わず地球の内部を探る

地球内部の状態を知る上で、地震学的な手法は重要な役割を果たしてきました。地震が引き起こす地震波は、固い場所を通ってくる場合には観測点に早く到達し、柔らかい場所を通ってくる場合には遅く到達します。1980年代以降、この到着時間のずれをCTスキャンに似た方法により、地球の3次元的な内部構造が明らかにされてきました(地震波トモグラフィ)。

地震が起きていない期間には、地球は振動してないのでしょうか? 実は、地球は常に海の波によって常に揺られている事が知られています。脈動と呼ばれる周期5秒から20秒程度の地面の振動です。しかし、この振動は地震観測をする上でのノイズであると長い間考えられてきました。常に色々な方向から到来しているため、“地震”が引き起こした地震波を隠してしまうためです。本当に脈動を使って、地球の内部構造を調べる事はできないのでしょうか?

2004年にShapiro達は周期10秒程度の脈動を使い、カリフォルニアの地殻構造を推定する事に成功しました。地震波が色々な方向から常に到来しているという事実を逆手に取り、脈動の伝わり方から地球の内部構造を調べたのです。現在、地震波干渉法と呼ばれる方法です。その後、同種の研究が盛んに行われるようになりました。

我々の研究グループでは、長周期の地震波(常時地球自由振動)を使い、全球的な構造も求めることに成功しました(上図参照)。また日本列島に展開されている地震計データを使って地殻構造を推定し公開しています。地震研・火山センターとの共同研究で浅間山付近のS波速度構造を調べ、マグマだまりのイメージングに成功しました。このテーマでは、地震波干渉法という手法を武器に丹念にデータを調べる事によって、ロー

カル・リージョナル・グローバルに関係無く、全てのスケールの現象に切り込んで行きます。解析手法の開発自体も大きな研究テーマとなります。

惑震学に向けて

地震を使わずに内部構造を調べられるという事は、地球以外の惑星の内部構造を探索する上で大きなメリットとなる可能性があります。他の惑星では地震活動がどの程度あるか分からない事が多いため、地震の情報を使わずに内部構造を推定する手法が非常に大切だと考えられます。何が地面を揺すっているのかは惑星によってまちまちですが、地震を使わない探索の可能性を探っていく事は、惑震学(惑星の震動学)を構築するためには不可欠でしょう。

時間変化をモニタリング: 環境地震学に向けて

地球の内部を調べる際に地震が起こるのを待つ必要が無いというのは、この手法の大きな強みです。地動ノイズを観測し続けてさえいれば、時々刻々と地球の内部構造の時間変化をモニタリングする事が可能となります。火山噴火や、地震現象にともなう地震波速度構造の検出し、その物理メカニズムを解明することが大きな目的です。今世界的にはさらに、多くの関連研究分野(氷床・水文学・海洋物理学)を巻き込み、環境地震学として新たな研究分野が生まれつつあります。日本には長年のデータの蓄積があります。環境地震学の創出をめざしてみませんか?

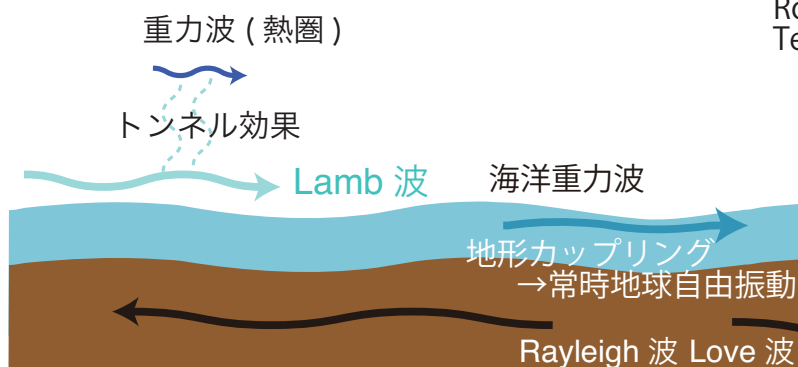
メンバー

中島悠貴 (PD) GNSS-TEC法で見る火山噴火に伴う電離圏擾乱

水谷雄太 (M2) 地震波速度構造のモニタリング

興味のある方は、お気軽にご連絡下さい。研究室の見学等、歓迎です。

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/knishida/>
knishida@eri.u-tokyo.ac.jp
Room 2-409 号室:
Tel 03-5841-5723



非平衡物理学研究室

波多野恭弘（数理系研究部門・准教授）

hatano@eri.u-tokyo.ac.jp

www.eri.u-tokyo.ac.jp/hatano



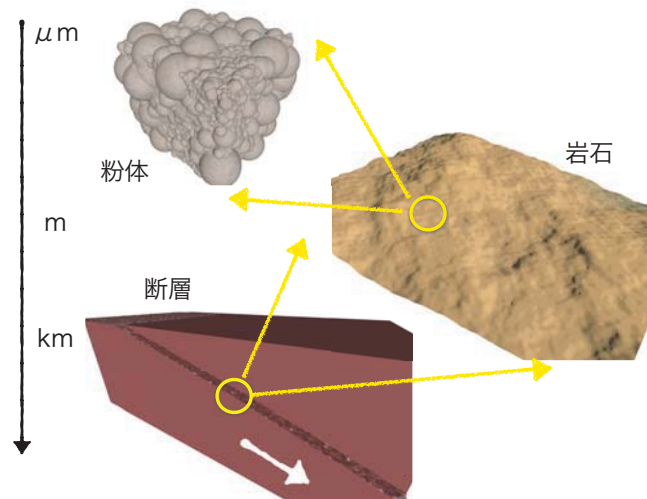
本研究室は、固体地球科学現象を非平衡・非線形物理学的観点から研究するグループです。線形弾性論を中心とする従来の地震学が相手にできなかった非線形な現象をともに相手にします。たとえば摩擦・破壊・粉体などを数理的に理解しようとしています。これまで研究してきた具体的課題とその動機を以下解説します。興味を持った方は気軽に研究室見学に来てください。

1. 実験室と地球のスケールギャップをつなぐ

地球科学の面白さは、地球規模の非常に大きな現象を考えることにありと個人的には考えています。これは空間スケールだけでなく、時間スケールに関しても同じことが言えます。いわゆる「地質学的タイムスケール」です。そのような、人間スケールとは大きくかけ離れた現象について、人間が何かもっともらしいことを言えることに素直に感動します。ただし、「時間・空間ともに人間スケールよりも全然大きい」ことは「実験が出来ない」ことも同時に意味します。精密な実験の繰り返しこそが自然科学を発展させてきた面がありますから、この「面白さ」はとりもなおさず「難しさ」も意味しているわけです。この困難をいかにクリアするか？それは実験室で起きている現象を地球スケールまでつなげるロジック・数理を考えることです。

たとえば地震は断層のすべり摩擦ですが、実験室での岩石のすべりと何が同じで何が異なるのか？実験室におけるマグマの性質から実際に火道中にあるマグマの挙動を理解出来るのか？そのような根本的疑問に、統計力学的な考え方を武器にアタックしています。

（統計力学は「スケールの異なる現象を数理的・論理的につなぐ」理論ですから、このような問題に対するほとんど唯一の武器です。）

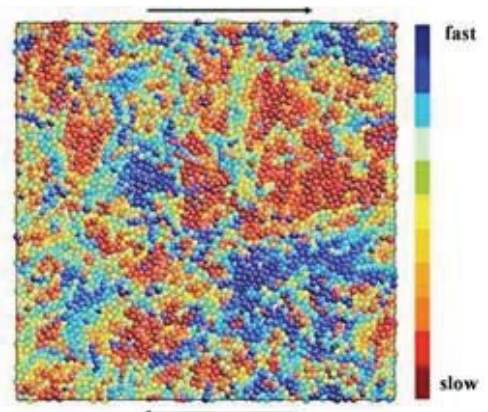


2. 断層の状態を地震の統計法則から推定する

地震はとても複雑な破壊現象ですが、地震の「場所・時間・マグニチュード」だけに注目すると、非常にシンプルな統計法則が成り立ちます。これら統計法則に含まれるパラメータは時間／空間について変動しますが、この変動は断層の物理的状态について何らかの情報を含んでいるはずで、たとえばあるパラメータは断層帯の応力を反映すると思われています。しかし統計パラメータの変動を観測していても、現状ではそこから断層の状態につ

いて何か確かなことは言えません。なぜか？それは、断層の物理的状态（原因）から地震の統計法則（結果）を求める理論が存在しないからです。逆に、そのような理論が存在すれば、結果から原因を推定できるようになります。我々のグループでは、断層の力学的モデルの数値シミュレーションや解析解を用いて、そのような理論を作ろうとしています。

面白いことに、地震と類似の統計法則は、脳／社会／経済／インターネットなど地震以外の様々な分野でも成立しています。この研究を通じて、これら他分野とのつながりを考えることも楽しいでしょう。なお、ここでの相手は統計性ですから、やはり統計力学的な考え方が重要な武器になり得ます。



断層破碎物の変形シミュレーション。速く動く粒子（青）と遅く動く粒子（赤）が勝手に空間構造を形成する。

3. 非平衡統計力学の理論

上の二つの項目では統計力学がいかに万能の武器であるように書きましたが、実は統計力学は平衡熱力学と整合性を持つように作られた理論であり、熱平衡に無い系では非常に限られた応用性しかありません。とくに地球現象では熱平衡とみなせる系は少ないですから、どうしても（非平衡系に適用出来る）統計力学の理論そのものを作り出す必要に迫られます。本研究室ではそのような理論物理学の研究も行っています。

＊おまけ：志望学生への注意事項

基本的には物理学的アプローチで地学現象に切り込む研究室ですので、物理と数学が好きで、理論的なことに興味のある学生が向いてるでしょう。しかし、高度な理論体系をマスターしてそれを応用していくわけではなく、現象そのものを虚心坦懐に捉え、そこから理論的説明を練っていくタイプの研究室ですので、既存の高度な理論の勉強が好きな人よりは、DIY的にいろいろチャレンジする人の方が向いていると思います。（研究である以上どこでも同じと思いますが）。

個人的に、博士課程進学者に対しては（専攻の入試とは別に）ある程度時間をかけて受け入れ可否を判断する必要性を感じています。したがって、修士課程を別の研究室で修了した後に当研究室で博士課程を考えている人は、可能な限り早く相談にきてください。

なお、2018年度は博士課程の学生が2名、修士課程の学生が3名、ポスドク研究員が2名在籍しています。これまでの卒業生は2名（修士号）で、民間企業（地質系コンサル会社・技術系ソフトウェア会社）に就職しています。

中谷正生（地球計測系研究部門，准教授）

e-mail: nakatani@eri.u-tokyo.ac.jp

office: room 2-311, tel : 03-5841-5763（直通）



研究テーマ：地震発生予測のための震源破壊物理。特に、小さな地震がたまたま止まらなかったのが大きな地震なのかという問題。

地殻岩石の脆性破壊現象である地震の発生時期や破壊の大きさはどの程度に予測可能か、特に、大きな地震のおこりやすい物理的状态というものが存在するのか、という興味から、地震発生の準備過程・破壊の停止機構を、以下のようなアプローチで研究しています。

1. 岩石の摩擦滑りの室内実験

中学・高校で習う、静摩擦・動摩擦だけで、断層が間欠的に急激な滑りを起すという地震の基本的な姿は、だいたい説明できます。しかし、岩石に限らず、ほとんどの材料の摩擦をよくみると、いわゆる静摩擦や動摩擦以下の力でもごく低速の滑りがおこり、このことによって、急激な滑りが起る以前にわずかな滑り（プレスリップ）がおこることが期待できます。この微妙な摩擦の性質に着目すると、プレスリップ以外にも、地震後しばらく続く余効滑りや、一種の遅れ破壊現象である余震、さらには、断層には、地震として間欠的に急激に滑るのではなく、定常的にずると滑っているものがあることなども説明でき、現在の地震発生論の標準的な構成要素になっています。

このような低速の摩擦滑りは、主に室温での実験で研究されてきましたが、熱水等の環境の影響によって、摩擦の微視的プロセスは大きく変わってしまうことがわかっており、この部分を具体的に解明することがひとつの大きな課題になります。さらに、我々は、断層面に超音波を透過させてその振幅を測ることで、断層面の固着状況を時々刻々モニターする手法を手にしており、今後、熱水環境の実験にもこれを適用して、地震発生の力学に直接的に重要である、500°C程度までの熱水環境下での摩擦滑りの詳細な性質と、その微視的プロセスを明らかにすることを目指しています。

2. 鉱山の地下数kmでの半制御地震発生実験

摩擦の室内実験では、平面に研削した岩石の滑り面を、粗い磨き砂でザラザラにして使い、滑り面の粗さによって、 D_c といわれる静摩擦から動摩擦への強度低下に必要な滑り距離がきまることがわかっています。この D_c という摩擦パラメータは、急激な滑り（地震本番）がおこる前にどの程度のプレスリップがおこるはずであるかを決める主要な因子であることが、力学的理論から示されています。では、自然の断層の粗さはどの程度ですか？ということになるのですが、自然の断層の形状をはかってみると、その形状はフラクタル、すなわち、より広い範囲をみると、平均的な粗さが大きくなってしまいうようなものなので困ってしまいます。

そこで、天然の断層が徐々に载荷され、その断層面のある程度広い範囲（100m程度）がまとまって急激に滑る(M2程度の地震)までのプロセスを、ごく近くで詳細に観察するために、南アフリカの鉱山内の地下1-3.5kmの地点で、様々なセンサーを、断層をとり囲むように多数配置しました。とくに、我々が開発した超高感度の振動センサの大規模なネットワークでは、断層の周囲半径100m程度の領域で、M-4以下までの超微小な破壊イベントを毎日1万個程度検出し、天然の断層面上に強く集中した微小破壊の派手な活動があることを発見しました。活動領域が時間とと

もに拡大していった例や、活動の集中で描きだされた断層面で実際に大きな（M2、滑り域のサイズ100m）地震がおこった例もみついています。また、採掘による载荷の増加に呼応して、断層面のない岩盤の中に、微小破壊の活動が集中して発生する数十mスケールの板状（厚み2-3m）の領域が現われることもみつかりました。大規模な破壊の準備過程で多数の微小な破壊が起るという期待は、自然地震の観測からは否定される大きな流れがありましたが、われわれの発見した微小破壊は、非常に小さなものばかり（b値がとても高い）で構成されており、自然地震の観測からは漏れているだけのことではないかと考えています。こんなデータは、我々しかもっていないので、いままでは、震源分布を正確にプロットするだけで書ける論文の数を稼ぐことに注力していましたが、そろそろ、より高度な活動解析を始めたいと考えています。

3. 不均質と地震の予測可能性

地震予知は原理的に不可能であるという論の大きなバックボーンは、いったんはじまった地震がどこまで成長するかは偶然に支配されるのだから、破壊が始まる以前に、「大きな地震がおこりそうだという特別な状態」ができてはいるはずがない、という考えです。地震がどうやって止るかについての理解はまだ黎明期にありますが、種々の観測事実を説明できる有力な説のひとつに、破壊物性の階層的な分布（大地震で破壊する、タフで大きな固着域の中に、部分的に脆い小さな部分がある）を仮定するものがあります。このような状況では、小さな脆い部分で始まった地震が、そこで止まらずに成長して大きな固着域全体を壊す（cascade up）ことが可能で、この場合、大地震のはじまる前には、小さな地震をおこすための準備だけが整っていればよいことになります。しかし、われわれは、JAMSTECと協力して大規模な数値計算を行い、タフで大きな固着域というものが存在する以上、小さな脆い部分からのトリガに頼らず、大規模な準備過程を経ておこる大地震というものは十分可能であること、また、小さな脆い部分で始まった地震が、大地震のタフな固着域を壊すためには、大地震の固着域自体がある程度緩み始めている必要があることを示しました。今後、数値実験によって階層構造のふるまいをさらに理解するとともに、実際の地震活動において、小さな地震と大きな地震がどう共存するか、データをみて考えたいとおもっています。少なくとも、大きな断層の一部だけが壊れるという現象、すなわち、大きな地震になりそこねた小地震というのは、Gutenberg-Richter則から期待されるよりは、ずっと稀であることは明らかです。

4. 物理はともかく、先行現象

古くから、大きな地震の発生が差し迫ったときに、普段はあまりみられないような現象、たとえば、ラジオが雑音で聞こえなくなったり、地下水の化学成分が変わったりということが報告されています。しかし、「地震の前の時期を調べるとこういうことがよく起っていた」という段階に留まるケースが多く、現象があるときとないときで、そのあと地震がおこる確率が違うのか、ということまでは検討されていないものがほとんどです。そこで、様々な「地震先行現象」かもしれないものの観測研究をしている全国の研究者と協力して、それらの現象が地震とどの程度に相関しているか、きちんとした定量的な統計評価をするというプロジェクトを始めています。3. で述べた cascade up のようなことを考えると、先行現象は、地震と百発百中の関係である必要は全くなく、たとえ弱い相関でも統計的に有意なものがあれば、「いまにも地震がおこりそうな特別な物理状態」があるということになりますから、まずは、疫学的アプローチで、統計的に有意な相関のあるものをみつけることが先決であるという考え方です。この件に関しては、物理の苦手な方も歓迎します。（でも、数学、得に確率・統計の苦手な方は不可）

大気も！ 海洋も！ 固体地球も！ ダイナミックな＝地球系＝を研究

【研究室メンバー】

- ◆ 綿田辰吾(准教授) 修士をGPS、博士をグローバル地震学で取得。不均質地球の自由振動から火山噴火・地震起源の大気波動の研究を経て、最近津波研究にハマる。
- ◆ Virgile Rakoto(研究員) パリ大学で津波起源の大気波動と電離層擾乱の研究で博士号を取得。三島由紀夫の小説を日本語で愛読。

【我々が目指す研究】

★ 地球に現れる未知の自然現象を探求する

電離圏・大気圏・海洋・固体地球（マントル・コア）を、弾性力・重力・コリオリ力・電磁気力などで結合した一つの力学系＝地球系＝にとらえ、地震や火山噴火時に限らず、＝地球系＝に現れる様々な地球物理現象——地球変形・地殻変動・重力変動や、電離層擾乱、地震波・大気波動（音波・重力波）・津波・海洋潮汐など——を対象とする研究。

【研究テーマの例】

◆ 「津波を使って地震を知る」

巨大地震や海底火山性地震を津波波形から解き明かします。太平洋を横断するような巨大津波も解析可能となりました。

◆ 「新たな津波の解析法の開発」

近年観測されるようになった良質の津波波形を使う、新たな津波解析手法の開発と応用研究を進めます。

◆ 「津波を宇宙から捕らえる」

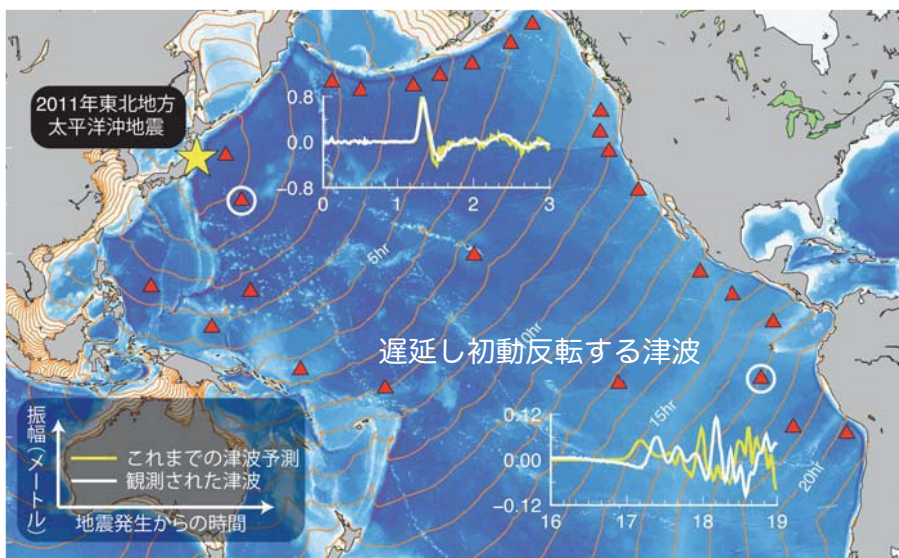
地震波に頼らず、人工衛星で測定される各種データから津波発生を即時に検知します。

◆ 「地震は大気や電離層を揺らす」

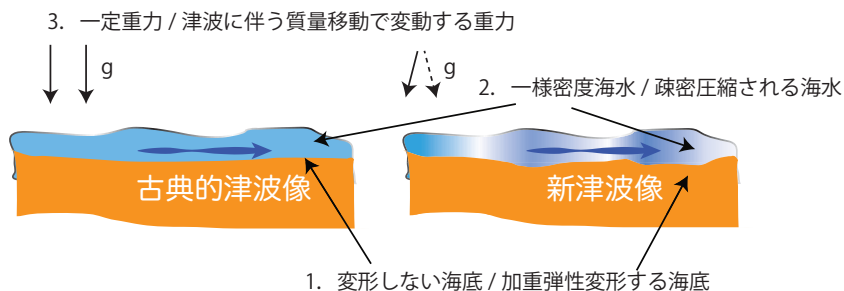
地震・津波・火山噴火・海洋波浪は固体地球だけでなく、大気中を伝播する音波・重力波を放出し、電離圏まで揺らします。これら現象の定量化・モデル化を進めます。

【これまでの研究例】

◆ 「津波で地球が変形！」



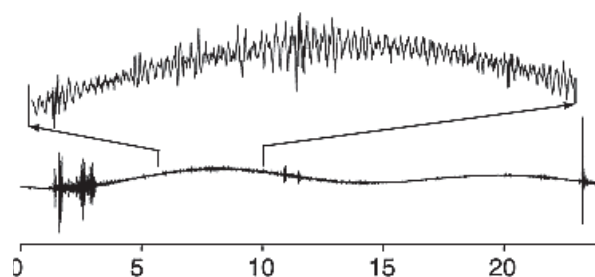
2011年東北沖津波は太平洋を横断し南米沖合でも観測されました。その到達時間はこれまでの予測より遅れ、津波初動は反転しています。



我々が構築した新津波伝播理論では、津波で地球は弾性変形し、重力場も変動します。(左図)

◆ 「火山噴火で大地と大気が共鳴振動！」

大規模な火山噴火が発生すると大気低周波音と長周期地震波の周期と波長が一致し、特定の周期・波長の地震波が効率よく発生する、大地と大気の共鳴現象が起きていることがわかりました。(右図)



【研究スタイル】

★ 全地球がターゲット

陸域を覆う GNSS(GPS)観測網、地震計・傾斜計・気圧計観測網に加え、海域にもこれら観測網が着実に展開しつつあります。さらには合成開口レーダ、人工衛星重力・衛星計測海面高度のような宇宙技術を利用した全球的連続観測が可能になってきました。これら地球観測データから地球規模の研究テーマを見つけます。

研究テーマは与えられたものでも、発想豊かに自ら探し出しても構いません。研究遂行に必要な理論や解析技術は、先生や周囲の研究者やネット・文献から学んだ基礎をベースに、議論しながら発展させ・適応しながら研究を進めます。

研究スタイル1 データから新現象を発見！

データ(画像・時系列)から相互に関係した新現象を発見し、因果関係を解明します。

研究スタイル2 新現象を説明する新理論の構築！

相互に関係する新現象を理論的に予測します。観測と比較できれば、文句なし。

研究スタイル3 新手法・理論を使った新たな研究分野への展開！

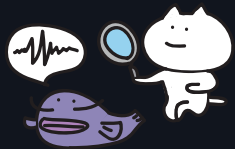
新手法・理論は未利用であったデータの解析を可能とし、新たな研究分野を開拓します。

こんな研究できないか、あんな研究できるのかなど、夢や空想があれば、相談に乗ります。

連絡先は watada@eri.u-tokyo.ac.jp

www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/STAFF2/watada.html





地球内部の物性とダイナミクスの研究

～岩石アナログ物質を用いて～

武井研究室

ytakei@eri.u-tokyo.ac.jp

はじめに

固体地球科学を研究する面白さの一つは、岩石の性質そのものにまだ分からないことがたくさんあることです。その中でも特に重要な未解明物性の一つが、以下に述べる岩石の「非弾性」と、非弾性に大きな影響を与える「粒界」（鉱物と鉱物の境界のこと）の物性です。これまでの固体地球科学では、岩石の力学物性は、岩石を構成している鉱物の物性が決めていると考えて、「粒界」の影響は考慮されてきませんでした。しかし、最近の私たちの研究から、地球のダイナミクスや地球物理的観測量を支配している岩石物性は、これまで無視してきた粒界の影響を非常に大きく受けていることがわかってきました。この新しい未知のテーマに実験や理論を駆使して取り組んでみませんか？

室内実験によるアプローチ：アナログ実験

地震学者が地球内部を調べるために使っている地震波の周波数は1Hz ～ 1 ミリHzです。しかし、岩石を用いる高温高压実験は非常に難しいため、室内実験における岩石の弾性波速度測定はメガHz ～ ギガHzという非常に高い周波数で行われてきました。最近までは、地震学から得られる地球内部構造の解像度はそれほど高くなく、地球の中がぼんやりと見える程度であったため、このような周波数の大きく異なるデータとも比較的良好な一致を得てきました。ところが最近の地震学の発展によって、地球内部の詳細な3次元地震波速度構造が分かってくると、室内実験のデータを用いた地震波構造の解釈が、地球ダイナミクスや地球化学の研究結果と矛盾することがわかってきました。

私たちのグループでは、岩石のアナログ物質として有機物の多結晶体を用いることで、1000度C以上の高温の岩石の振る舞いを、室温近傍（20度C）で実現し、1メガHz から1 ミリHzに及ぶ広い周波数帯域での弾性波速度を調べてその周波数依存性を明らかにしました。その結果、高温の岩石の弾性波速度は、周波数によって非常に大きく変わることがわかりました。このような弾性波速度の周波数依存性を引き起こす物質の性質のことを「非弾性」と言います。実験データを詳細に検討した結果、非弾性の原因は粒界が柔らかくなって滑りやすくなることにありとわかり、特に岩石が部分熔融する直前の温度でこのような変化が生じていることもわかりました（2枚目の山内さんの研究を参照）。メガHz ～ ギガHzという高周波の波は非弾性の影響を受けないためこれまでの室内実験ではわかりませんでした。地震波は粒界の影響を大きく受けています。そして粒界の影響を考慮すれば、地球内部構造を、地球ダイナミクスや地球化学の研究結果と矛盾なく説明できることもわかりました。しかし、実験で捉えられた粒界の物性変化が、どのような物理プロセスによって生じているのかは理解できておらず、実験の結果を地球内部の様々な場所（リッジやサブダクションなど）に適用するためには、さらに多くの実験を行って現象の物理に迫ることが重要となります。アナログ実験は、岩石以外の物質を用いて、個々の物質によらない普遍的物理の解明を目指すもので、このような未知のプロセスの研究に適した研究手法です。

理論モデルによるアプローチ：熱・統計物理学

未知のプロセスの解明には、実験とともに物理モデルが重要な役割を果たします。近年の物性物理学では、界面の理解が大きく進展していますが、これらを岩石に応用する研究はまだ行われていません。岩石粒界を扱う適切な物理モデルを開発し、地球内部の温度、圧力、化学的条件下での粒界や岩石-メルト界面の振る舞いを予想することが重要です。

メンバー

武井 康子（教授）

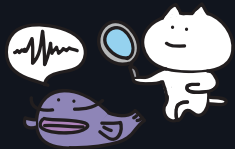
山内 初希（特任研究員）：岩石の部分熔融が地震波速度と減衰に与える影響の解明

佐々木 勇人（D2）：地球内部の差応力や変形が地震波速度と減衰に与える影響の解明

角田 明博（M1）：粒界の熱力学モデル

興味のある方、研究室の見学を希望する方、お気軽にご連絡下さい。

武井メール：ytakei@eri.u-tokyo.ac.jp



地球内部の物性とダイナミクスの研究

～岩石アナログ物質を用いて～

武井研究室

ytakei@eri.u-tokyo.ac.jp

多結晶体の非弾性が切り開く地球内部の新たな描像

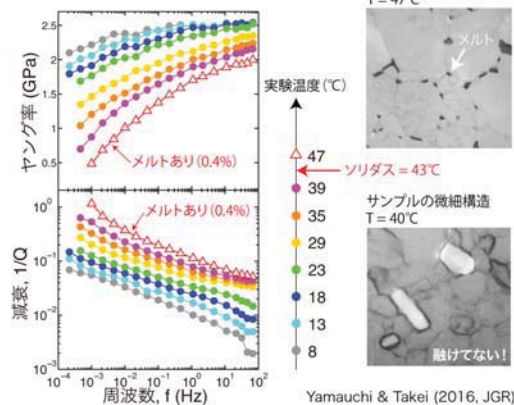


岩石の非弾性（弾性と粘性の中間的な物性）は地震波の速度分散と減衰を引き起こす。従って、地震波トモグラフィーの結果を解釈するには、非弾性が岩石の様々な状態からどのような影響を受けるか調べる必要がある。我々は、特に、部分熔融と転位が多結晶体の非弾性に与える影響を調べている。

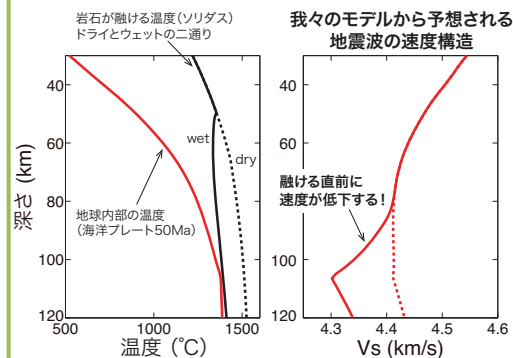
部分熔融の影響

部分熔融岩石のアナログ物質を使って、融点（ソリダス）直下から部分熔融に至るまでの多結晶体の非弾性を調べている。これまでに、「部分熔融の直前」でメルトが無くても、非弾性が顕著に増大することを明らかにした。その結果をもとにして得られた非弾性モデルを地球内部の温度構造に応用し、融ける直前に地震波速度が低下することを示した。現在は、応用的研究を中心に行ない、上部マントルの低速度層（アセノスフェア）の解釈に取り組んでいる。（特任研究員・山内）

アナログ物質を使った実験



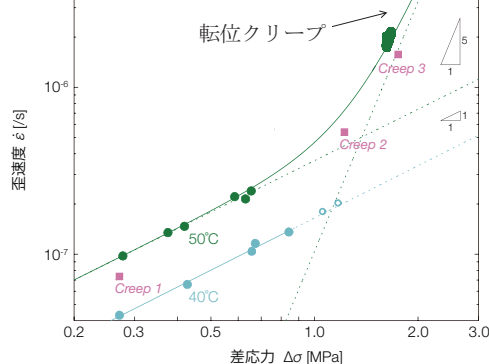
地球内部への応用



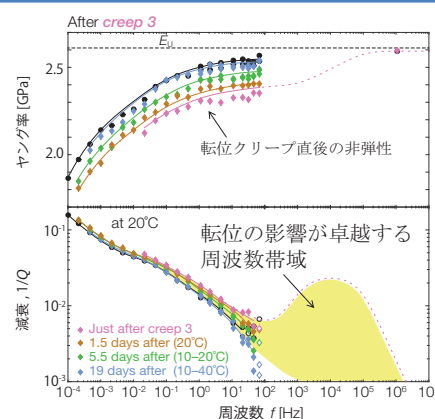
転位の影響

岩石のアナログ物質を使って、転位が多結晶体の非弾性に与える影響を実験的に調べている。応力を受けて変形した物質では、結晶中の原子配列がダメージを受け、転位という欠陥が存在する。転位の影響が分かれば、地震波観測に基づいて地球内部の変形状態を推定できるようになる。これまでに、アナログ物質に転位が入る変形条件を明らかにし、転位導入後では著しい非弾性緩和が見られ、限られた周波数帯域で卓越した。現在は、地球内部と同様、転位を入れながら非弾性測定を行う実験に取り組んでいる。（D2・佐々木）

アナログ物質を使った実験



転位クリープで
転位を入れた後
非弾性を測ると
転位の影響を
強く受けていた。



部分熔融マントルからのメルトの分離・上昇に関する大きな謎



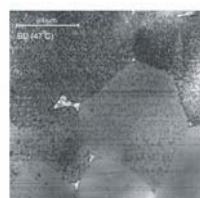
マントル部分熔融層では、メルト相がわずか0.1%程度できた段階で素早く抜けてしまうことが地球化学的な観測からわかってきたが、なぜそんなに素早く抜けるのかは謎である。部分熔融岩の単純せん断変形の結果、メルトの集まったシート構造ができることが報告された、このような構造をメルトが高速で通り抜けるのかも知れない、と注目されている。しかし本物の岩石を用いた高温高压実験には制約が多いため、なぜこのような構造ができるのか、そのメカニズムの解明には至っていない。部分熔融岩のアナログ物質を変形させて、このような構造を再現し、そのメカニズムを解明することで、マントルからのメルトの分離上昇問題にも迫ることができる。

顕微鏡
で見た
内部構造



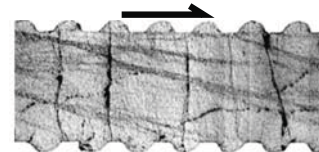
本物の部分熔融岩石
(1200°C)

顕微鏡
で見た
内部構造



アナログ部分熔融試料
(43°C)

サンプルを変形



部分熔融岩の変形実験
(Holtzman et al, 2003)

サンプルを変形
(どうやって?)

シート構造はできるか?

Takei, 2000,
JGR

岩森研究室：地球ダイナミクス

岩森 光 (hiwamori@eri.u-tokyo.ac.jp)

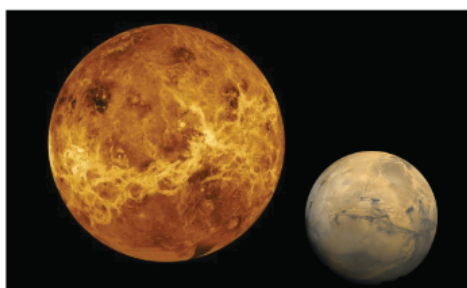
惑星「地球」を俯瞰し、様々な手法を用いて、
地球の生立ち・未来の姿、地震・火山などの変動現象の仕組みに迫ります

研究背景

なぜ兄弟惑星と異なり、地球は活発で賑やかなのか？

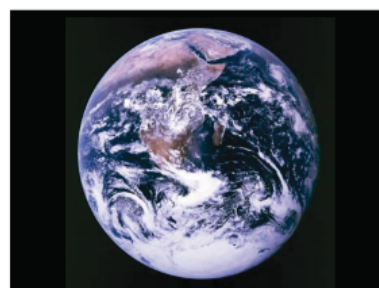
活発な物質・エネルギー循環とその仕組みの理解は、地震・火山活動、
極度な元素濃集（鉱床形成）や散逸系としての生命活動理解にも重要。

金星、火星



シングルプレート
物質やエネルギーは停滞
地震・火山は不活発
苦鉄質岩石主体

地球



マルチプレート
物質やエネルギーが循環
地震・火山が活発
300強の岩石種
鉱床など極度な元素濃集

研究手法

・野外調査

（火山・温泉・造山帯、調査船・潜水艦での掘削・採取、海底物理探査）

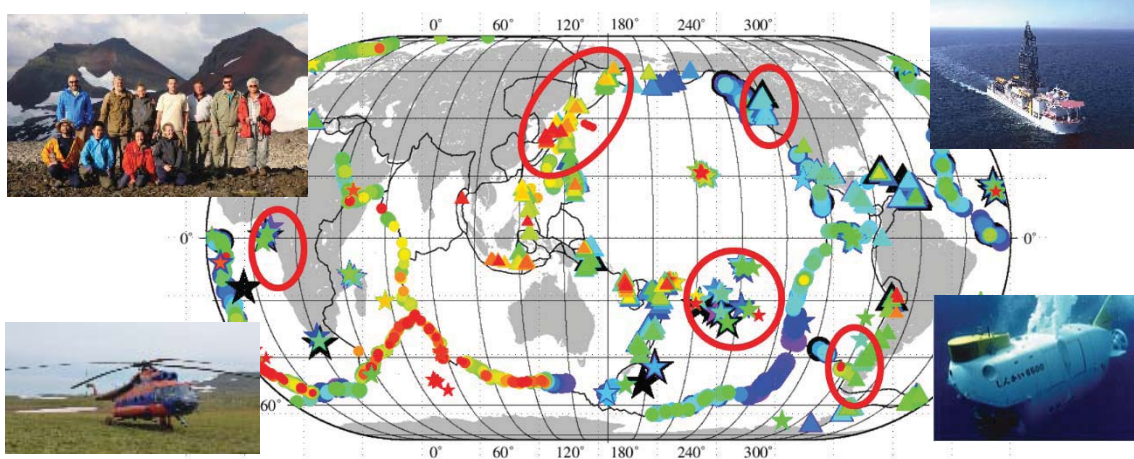
日本列島火山・温泉、カムチャッカ、チリ、ポリネシア諸島、他

・室内分析（X線分析、レーザー・プラズマ・2 次イオン+質量分析など）

・データ解析（大規模統計解析、ベイズ逆解析、独立成分分析）

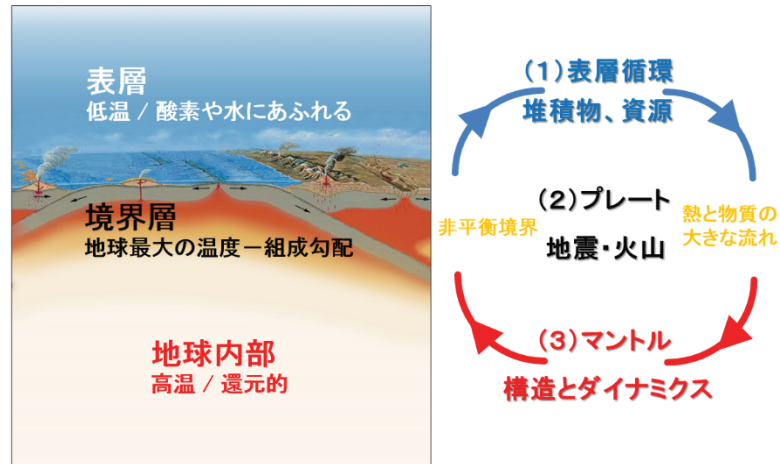
・数値シミュレーション（2 次元～全球物質循環・マントル対流）

いずれかを深化させる、あるいは複数を組み合わせて取り組む。

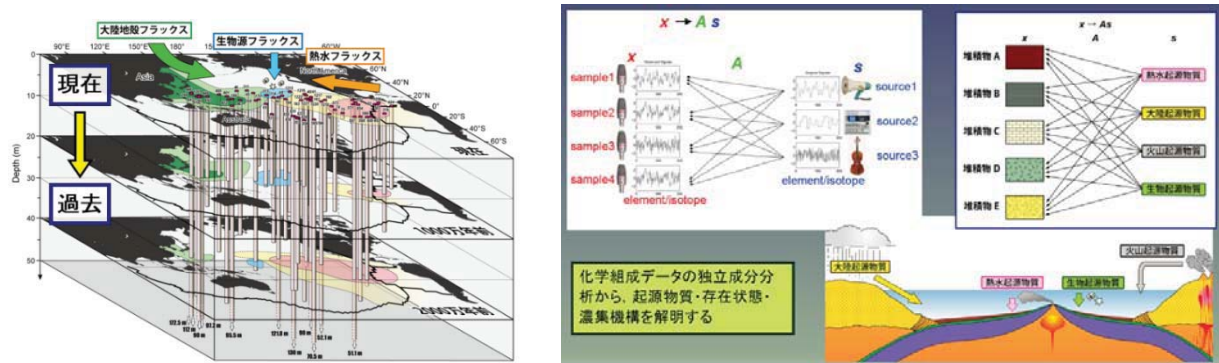


研究テーマ例

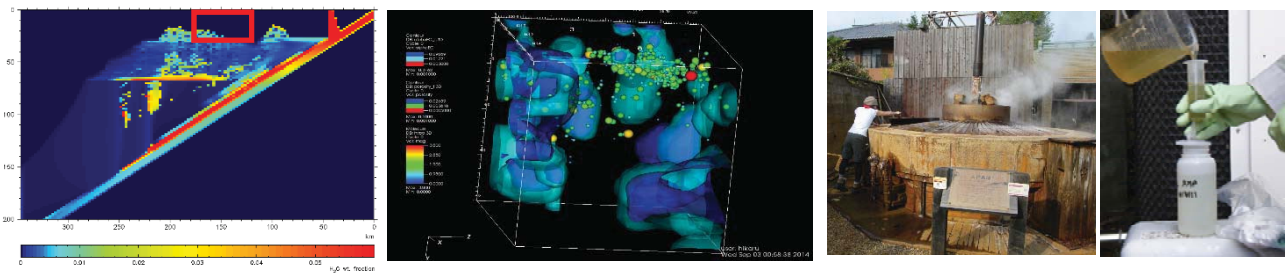
固体地球と表層：相互作用の重要性



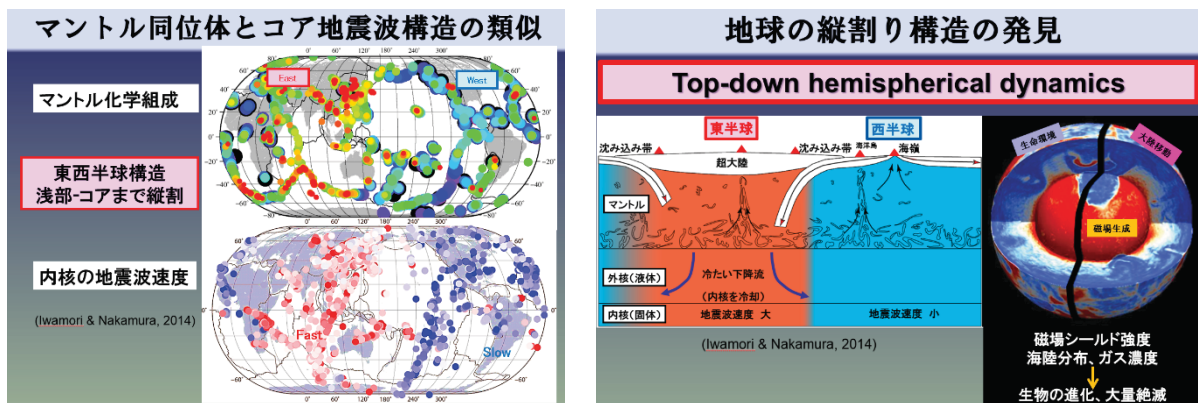
- (1) ・全海洋堆積物から AI で読み解く表層－マントル変動
 ・新海底資源：超高濃度「REE 泥」の成因解明



- (2) ・沈み込み帯の物質循環：火山－地震の成因の総合研究
 ・固液 2 相マントル対流と島弧変動、地殻流体の分布と火山・温泉水の起源



- (3) ・地球内部の大規模組成半球構造
 ・マントルーコア結合対流シミュレーション、地球の海洋・大気の過去と未来



中井研究室（地震研究所）

地球惑星システム科学講座

連絡先：中井俊一（03-5841-5698，地震研 2-419 号室）

e-mail;snakai@eri.u-tokyo.ac.jp, http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/nakai_lab/

地球化学の手法を使って、地球が 45.5 億年の間どう進化してきたか、火山の中で何が起きているかや、地球内部や表層での物質循環などを探求する研究を行っています。現在、四重極型の ICP 質量分析装置と同位体比測定用のマルチコレクター型 ICP 質量分析計が設置されています。これらの分析装置を用いて、岩石中の微量元素同位体を測定し、それらをトレーサとして、下記のような研究を進めていきます。

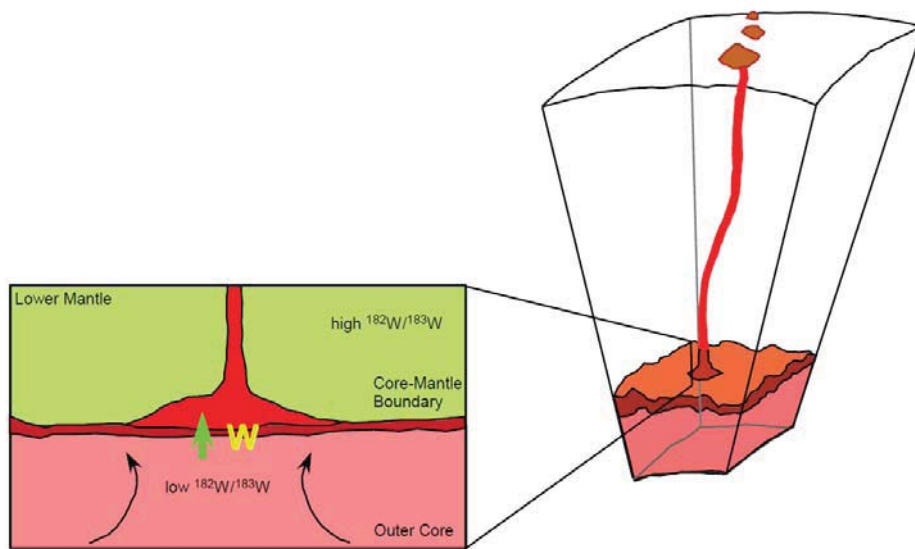


同位体比測定用の ICP 質量分析計(左), 化学処理のためのクリーンルーム(右)

研究テーマの例：



鉱物資源量の推定や海底熱水系での生物の進化を考えるうえで、海底熱水鉱床の活動期間がどのくらい続いているかは重要な情報である。海底熱水鉱床の硫化鉱物をウラン-トリウム放射壊変を利用した方法で年代測定する手法を開発した。数百年の若い鉱物でも精度の高い年代測定が可能である。



タングステンの同位体比が、コアとマントルで違うことを利用して、深部から上昇してきたマントルプルームにコア物質が含まれているかを調べている。

北京出土の青銅器の起源について —雲南から原料がもたらされた可能性—

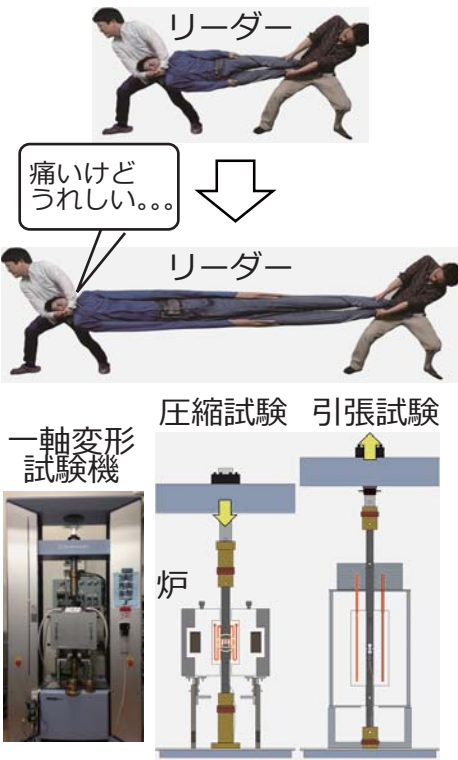


華北との交流開始に伴い、青銅技術・文化も流入した可能性があり、
古代中国の青銅文化について重要な知見

スズの同位体組成を使い、地球化学、考古学への応用を試みている。鉱石であるスズ石の同位体組成の不均質性、鋳造の際の同位体組成の変化、青銅器の同位体組成の不均質性の比較から、産地の推定に役立つ場合があることが分った。

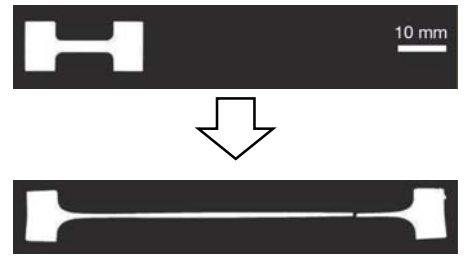
世界唯一無二の石を作り、地球内部のダイナミックな現象を実験室で再現する 平賀研究室

リーダー：superplastic man



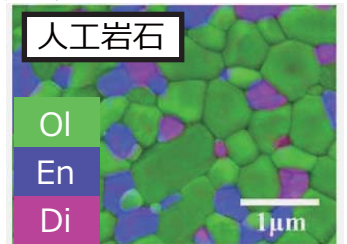
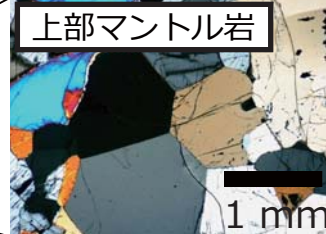
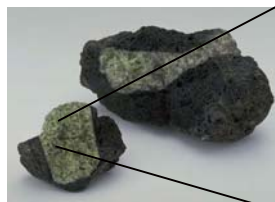
我々は、石を実験室で作ります。「地表」にある石とは異なり、隙間を極限まで減らした「地球内部」にある石を用いて、これまで不可能とされてきた様々な地球内部現象を実験室で再現することが可能になってきました。例えば、超塑性という現象があります。左図のように、物質が数 100%を超える均質伸び変形を起こすことを超塑性と呼びます。残念ながら、「人」は元の長さに戻ってしまいましたが、我々は下図のように細粒・緻密化した岩石を合成し、それを高温下で引っ張ったところ（右図）、世界で初めて岩石の超塑性を示すことに成功しました。

修士の学生が、軽々と岩石超塑性の発現に成功



Hiraga, Miyazaki et al. (2010 Nature)

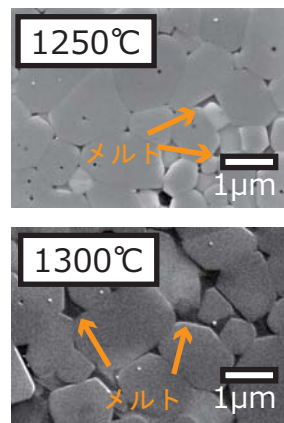
実験後の石を観察すると、様々な特徴的な微細構造が発現しました。それが、実際の天然の岩石で見られるものと一致し、地球内部で起きている現象を今度は天然の岩石の構造からひも解けるようになってきました。



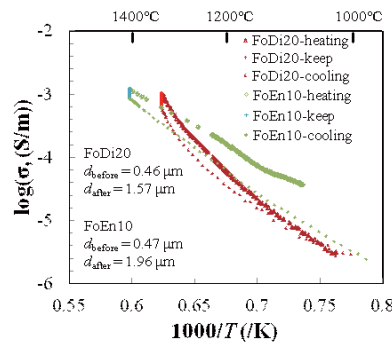
マントル岩石中の粒界を電気で見る：末善

細粒フォースタライト (fo) 多結晶の電気伝導度には粒径依存性があり、その原因は、主要な伝導メカニズムが荷電粒子の粒界拡散であるためと考えられています。このことは、fo 多結晶の粒界の温度変化に伴う物理的・化学的変化を検出するためには電気伝導度測定が有効である可能性を示しています。本研究では温度依存性と粒径依存性を詳細に調べるため、ゆるやかに温度を上下させながら、1℃ごとという過剰ともいえる間隔でインピーダンスデータを測定しています。

急冷した試料の微細構造



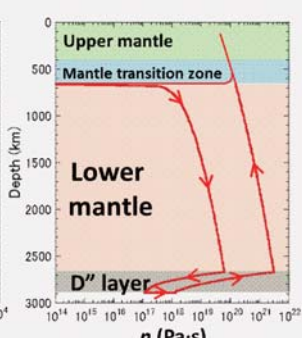
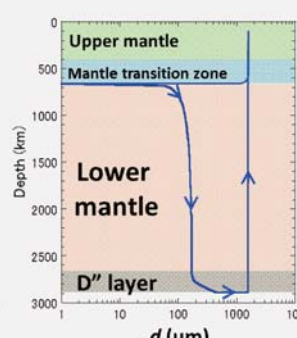
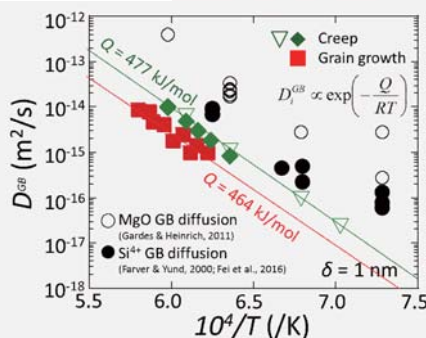
電気伝導度の温度依存性



fo + en 系の微小な活性化エネルギーの変化や、fo+di 系の試料は融点近傍でしか粒径依存性が見られないことなどを新しく発見してきました。



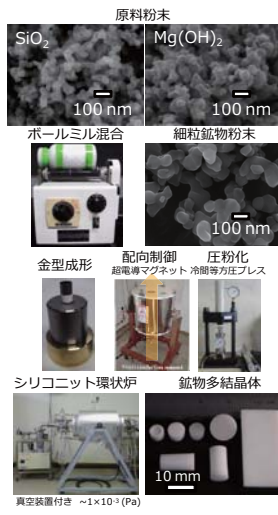
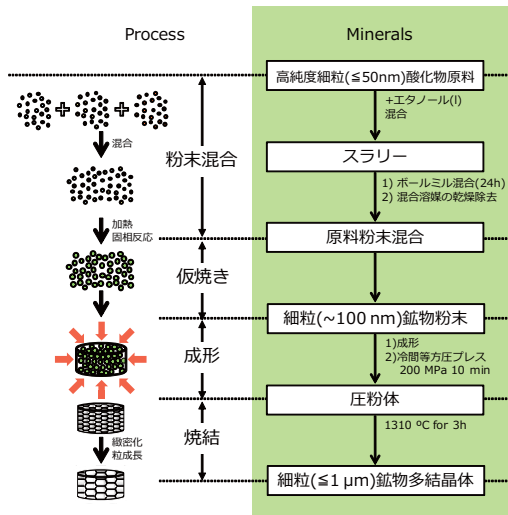
大気圧下の実験で下部マントルの流動を探る！？：岡本



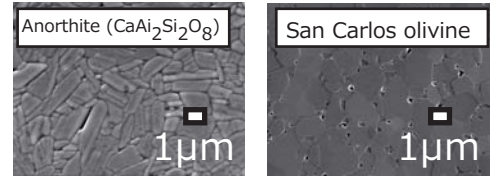
下部マントル物質は、対流中にその粒径が 3 桁以上変化し、粒径依存型の拡散クリープ条件下で流動する。マントルの粘性率を求めるには、粒径変化が粘性率に与える影響を考えなくてはなりません。私の行なった大気圧下の (!) アナログ物質のクリープ・粒成長実験から、下部マントル物質のクリープと粒成長は、同一の拡散メカニズムに支配されていることが分かりました (図 1)。このことを用いると、先行研究で得られた下部マントル物質中の元素の拡散係数から、対流中の下部マントルの粒径と粘性率を推定することができるようになります (図 2)。

石の匠：小泉さん

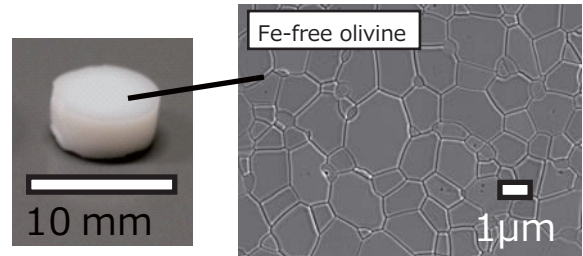
地球内部の現象を再現するための試料



下部地殻鉱物多結晶体 天然粉末から合成

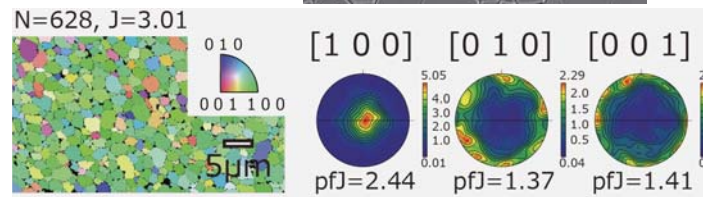


合成マントル岩石 - 無配向体と格子選択配向 (LPO) 体 -



地球内部の現象を理解するためには、鉱物や岩石を用いた実験的研究が欠かせません。我々は、試料の粒径を小さくすることで、実験室実験では地球内部と比べて、非常に早いひずみ速度でしか行えないという欠点を補い、地球に適用できるデータの測定を可能にしています。

我々の開発した試料は、細粒緻密であるだけでなく、(1) 試料のサイズや鉱物組み合わせなどを自由に選択出来、(2) 変形の集中や、実験の再現性の低下の原因となるクラックや空隙、不純物が無いという特徴も持っています。マントル鉱物多結晶体の合成から始め、現在では下部地殻鉱物多結晶体や、部分熔融岩のアナログ物質、微量元素、貴金属入り試料、格子選択配向 (LPO) を有する試料、天然岩石粉末を用いた半合成試料など様々な種類の試料合成が可能になり、研究対象領域が拡大中です。



マントルと地殻の固さは自分が決める：谷部



深さ[km]	大陸の地下構造	岩相	主要鉱物	変形メカニズム
0	上部地殻	花崗岩	石英	脆性破壊
10-20	下部地殻	斑レイ岩	斜長石	塑性変形
30-70	上部マントル	かんらん岩	オリビン	塑性変形

アノサイト：斜長石のCa端成分

$$\dot{\epsilon} = A \frac{\tau^n}{d^p} \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

$\dot{\epsilon}$: 歪速度 T : 温度 A : 比例定数
 τ : 差応力 Q : 活性化エネルギー n : 応力指数
 d : 粒径 R : 気体定数 p : 粒径指数

実験で決定: A, Q, n, p } 地球内部の差応力(強度) τ
 観測で決定: $\dot{\epsilon}, d, T$ } 粘性率 $\eta = \tau / \dot{\epsilon}$ } を推定

板チョコを両手で折り曲げることを考えましょう。冷たければパッキリ割れると思います。逆に温めてあれば割れずにぐにゃと曲がると思います。地球も同じです。冷たい(浅い)部分では石はパッキリ割れて地震が起き(脆性破壊)、深い(温かい)部分ではぐにゃと変形します(塑性変形)。

私は下部地殻及び上部マントルの鉱物を用いて変形実験を行い、塑性変形を記述する流動則を実験的に決定し、実際の地球内部の流動特性を調べています。

Ferrand (PD 新人)

安藤 (M1 新人)



コンニチワ。ワタシハ、ハリウッド(フランス)カラキマシタ、フェランドデス。ムカシ、カイゾクセンニノッテイマシタガ、イマハ、マジメニ、コウブツノ、ソウテンイニトモナウ、ガンセキノレオロジーノケンキュウシテイマス。(本人談・意識)

コンニチワ。ウチハ、オオサカノシタマチカラキマシタ、アンドヤデ。ムカシハ、チキュウノコアノケンキュウシテイマシタ。イマハ、マントルノナカデ、コウブツガナラブケンキュウシテイマス。ガンバリマッセ。(本人談・大阪弁変換機使用)

Image from "Earth Story" by S. Lamb and D. Singleton

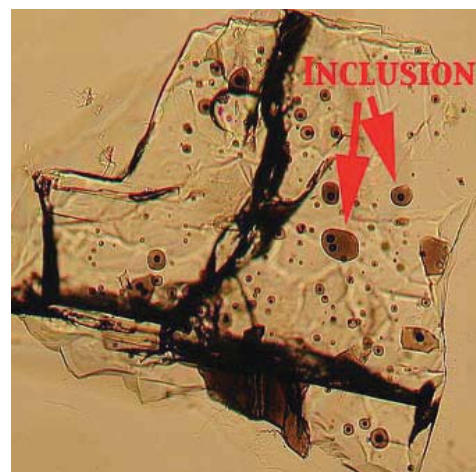
安田研究室

－火山噴出物から読み出すマグマ活動と噴火予測－

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/STAFF2/yasuda@magma.html>

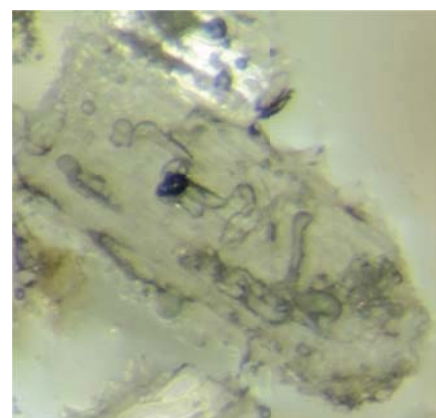
マグマは太古の昔から現在に至るまで様々に規模や形を変えながら、私たちの周辺環境の形成に寄与してきました。地球形成期においては、マグマオーシャンと呼ばれる全地球規模のマグマの海での物質分化が現在の地球の層構造を生み出し、その後もマントルで形成された巨大なプルームから分離したマグマは洪水玄武岩と呼ばれる広大な溶岩台地をたびたび地表につくってきました。現在でも、島弧・海嶺・ホットスポットといった多くの場所での火山活動によって、マグマの姿を実感することができます。

様々な自然現象を理解するためには、観測／解析、実験、理論を組み合わせる必要がありますが、私の研究グループが主として用いるのは、噴出物の解析を中心にしてマグマの物理・化学的性質から現象の本質に迫ろうというものです。最近、特に興味を持っているテーマは、マグマ溜まりと噴火プロセスの解明で、その武器として選んだのがメルトインクルージョン（ガラス包有物）や結晶の組成と組織の解析です。



2000年三宅島噴火で噴出したマグマ中に含まれる斜長石の中のガラス包有物。

メルトインクルージョンとは「マグマの缶詰」とも呼ばれ、マグマ溜まりの揮発性成分量などに関して最も信頼性が高い情報を保持しています。揮発性成分量は火山の噴火様式に大きな影響を与えるので、これがマグマ溜まりの進化や噴火の最中にどのように変化するのはきわめて重要な問題です。これと、火山噴出物の全岩組成、結晶の組成や組織、メルトインクルージョン形状、気泡の大きさ、斑晶に記録された拡散プロファイルなどの情報を組み合わせることにより、マグマシステムの状態とその変化を知ることができます。

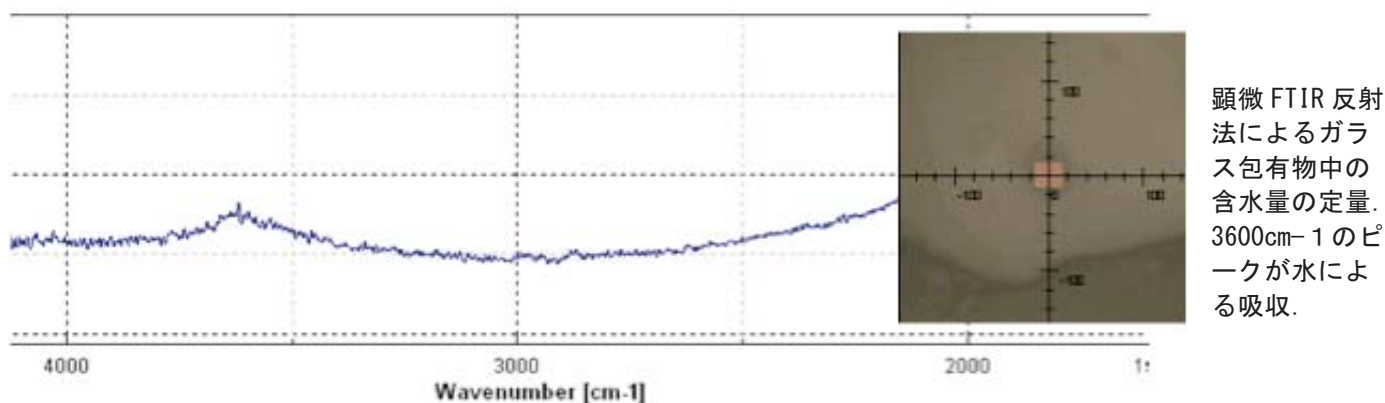


富士宝永噴火の斜長石中のガラス包有物中の気泡。複雑な形状の気泡が含まれる

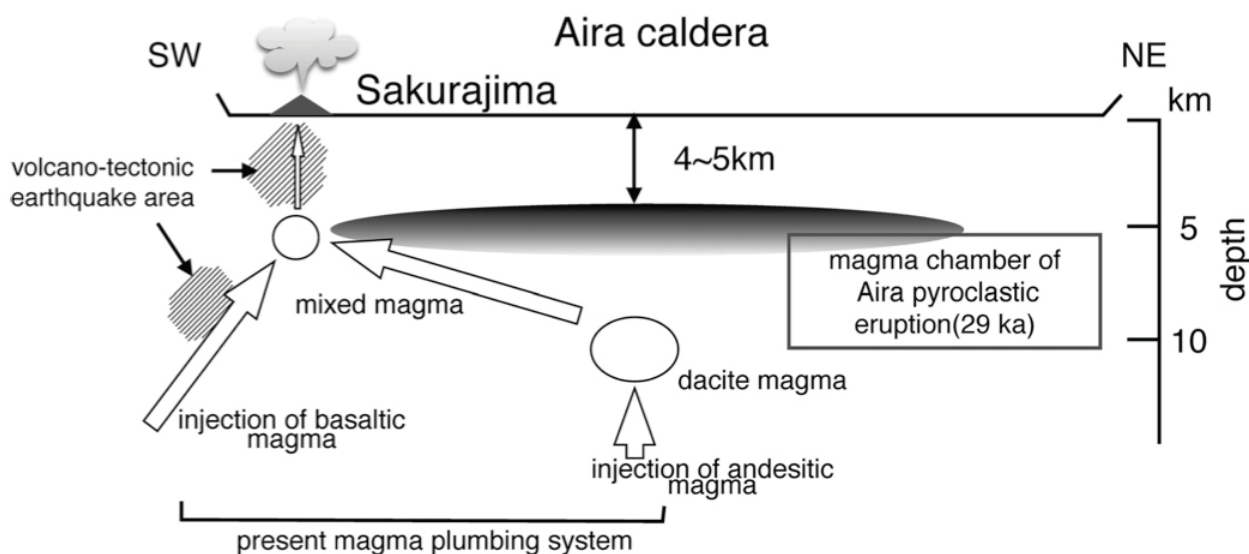
噴出物を解析するメリットは、時間軸の拡張です。物理観測ではマグマのおかれた現在の情報しか得られませんが、物質の解析によって遠い過去のマグマ活動

の実像にも迫ることが可能になります。つまり、過去から現在に至る流れの中での、噴火に到るプロセスの解明が期待できます。

我々の研究グループでは、メルトインクルージョン分析に新しい手法（顕微 FTIR 反射法）を取り入れることに成功し、これまでよりもずっと容易にマグマ中の水の定量が行えるようになりました。また、**最新鋭の分析装置 (FE-EPMA)** の導入によって、これまで得られなかった高い空間分解能での分析が可能となり、斑晶やメルトインクルージョンから、マグマの状態（温度・圧力・含水量）や状態の変化の速度が読み出せる環境がととのいました。現在はこれらの分析機器を駆使して火山噴出物の分析を行い、富士山や桜島等の活動的火山について、その **過去から現在までを通してのマグマ活動を明らかにする研究**を行なっています。こうした研究は、火山災害を低減するためにも重要であり、次世代火山研究推進事業、課題 C-1「火山噴火の予測技術の開発：火山噴出物分析による噴火事象分岐予測手法の開発」<http://www.kazan-pj.jp/research/c#c-1>）の中心メンバーとして、西之島や霧島などの最近噴火した火山の噴出物の解析にも取り組んでいます。



顕微 FTIR 反射法によるガラス包有物中の含水量の定量。3600cm⁻¹のピークが水による吸収。



2 万 9 千年前の始良火砕噴火時のマグマ溜りの深度の推定図。

現在の始良カルデラ深部のデイサイト質マグマ溜りは深さ約 10km に存在するが、始良火砕噴火時にはかなり浅い所にまでマグマ溜りの上部が広がっていたことが明らかになった。



古村 孝志 (FURUMURA Takashi)

Mail: furumura@eri.u-tokyo.ac.jp
URL: <http://www.eri-u-tokyo.ac.jp/furumura/>

東京大学地震研究所 災害科学系研究部門

研究分野: 地殻・マントル構造、地震波伝播シミュレーション、強震動、地震防災

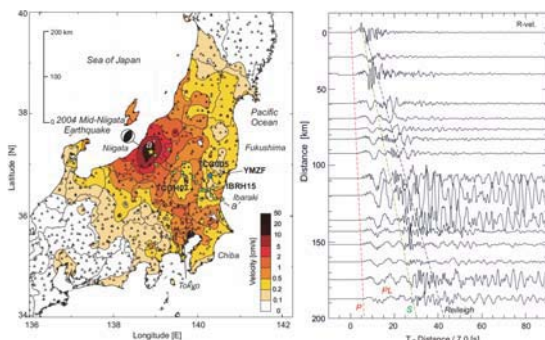
日本列島および世界の地震観測データを用いて、地震波の伝播特性から地殻・マントルの不均質構造を推定し、スパコンを用いた不均質な地下を伝わる地震波の再現、そして大地震の地震防災に向けて、強い揺れ(強震動)や津波をシミュレーションする研究に取り組んでいます。最近、力をいれているテーマをいくつか紹介します。

1. 地殻を伝わるPL-phaseと長周期地震動

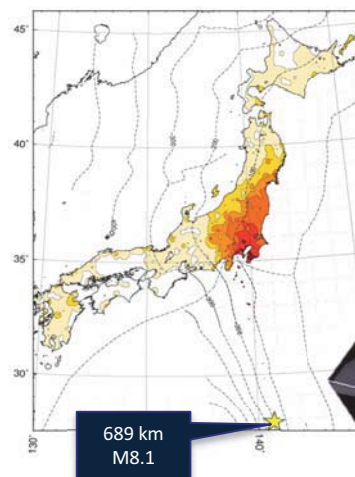
大地震が起きると、関東平野では長周期地震動が強く発生し、超高層ビルを大きく揺すり被害を起こす恐れがあります。その正体は、主にS波の後から到達する表面波です。ところが、2004年新潟県中越地震(M6.8)では、P波の直後からやや大きな長周期(5-10s)のPL-phaseが到来し、地震発生からの直後から長周期地震動の揺れが始まりました。

このPL-phaseはどのように発生・伝播したのでしょうか。日本列島の地殻・マントル構造を詳細にモデル化した地震波伝播シミュレーションにより、PL-phaseは地殻を広角反射を繰り返し、長周期の成分が干渉して増幅を起こす過程が確認できました。地表下の低速度の堆積層がP波反射を強め、PL-phaseの生成を助ける働きもわかりました。

速く到着するPL-phaseを監視することで、後から到達する大振幅の表面波・長周期地震動を予測できる可能性があります。



新潟県中越地震で発生した長周期のPL波と最大速度分布



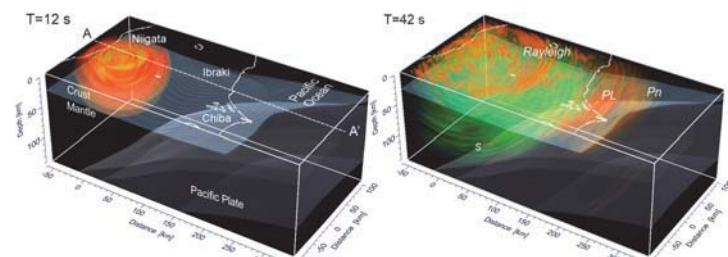
2015年の小笠原西方沖の深発地震で見られた揺れの強さ(加速度)分布

「京」コンピュータによる波動伝播シミュレーションで再現した、深発地震の揺れの広がり

3. プレート内部構造と異常震域の生成

2015年5月30日夜に小笠原西方沖の地下682 kmでM8.1の深発地震が発生し、関東～東北～北海道の太平洋岸に最大震度5強の強い揺れが観測され、東京ではガタガタとした揺れが1分以上長く続きました。

太平洋岸に沿って延びた特異な震度分布は「異常震域」と呼ばれ、硬いプレートの中を地震波が遠くまで良く伝わるためです(地盤による増幅も影響します)。しかし、硬い(地震波速度が大きい)プレートだけでは、地震波を中に閉じ込め遠くまで伝えることはできません。周囲の(地震波速度の遅い)マントルに抜け出してしまいます。閉じ込めメカニズムとして、プレート内に硬い/柔らかい岩石が数kmの短いスケールで互層状態(ラミナ)になっており、それによって周波数1~2 Hz以上の高周波数地震波が強く前方散乱を何度も起こしながら、ラミナ中を伝わると考えています。プレート内で散乱を繰り返し起こした結果、ガタガタと長く続く揺れが生まれるのです。こうした不均質プレートをモデル化した地震波伝播シミュレーションを行うと、深発地震に見られる異常震域と長い揺れの特徴がよく再現できます。



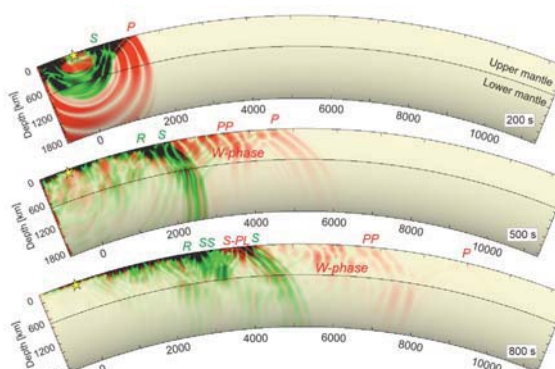
3次元差分法計算で再現した2004年新潟県中越地震の波動伝播とPL波

2. PL-phaseとW-phaseの伝播の類似性

PL-phaseとよく似た、超長周期(100-1,000秒)のW-phaseと呼ばれる波群があります。W-phaseは、大地震において遠地(1000-10,000 km)の地震計記録のP波~S波の間に観測され、震源メカニズム推定と津波警報に広く用いられています。

これは、地殻を伝わるPL-phaseと同様に、上部マントルをを広角反射に伝播・干渉して生じる、PL-phaseの時・空間スケールを10倍大きくした波動現象として説明できます。このとき、地殻は低速度層の表層の役割を持ちます。

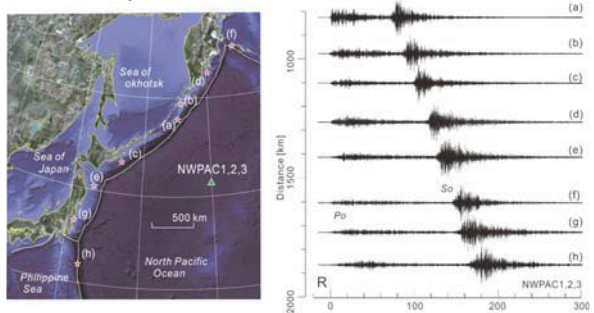
地球では、こうしたスケールの異なる相似の波動現象が、表層、地殻、上部マントルなどの境界で発生するのです。



3次元シミュレーションで評価した、球殻地球の上部マントルを伝播する、W-phaseの特性。

4. 不均質なプレート内部構造と成因

では、沈み込む海洋プレート中に見られる短波長の不均質構造は、どこで、どうやって生まれのでしょうか？これを解く鍵が、海底地震観測から見つかりました。東大地震研が北太平洋上に設置した海底地震計で、日本海溝で起きた地震の揺れを見ると、P波とS波ともに強い地震波の散乱を示す、い紡錘形の波形を示していることがわかったのです（これはPo、So波と呼ばれています）。すなわち、プレート内の散乱帯（ラミナ構造）は、プレートが沈み込んだ後に生まれたものではなく、前から存在していたのです。プレートが生まれる海嶺付近でも同様の観測が見つかりました。さらに調べると、年代が古く、厚いプレートほど地震波散乱が強いことがわかりました。プレートが海嶺で生まれ、海溝に向けて広がり成長する過程で、アセノスフェアの一部がプレート下部に張り付くようにしてできているようです。では、ラミナ構造の本質は何なのでしょう。溶けた岩石でしょうか？それとも岩石の亀裂？流体？不均質構造の分布から太古のプレート運動の様子がわかるかもしれません。太平洋の各地の地震波データと地震波伝播シミュレーションから、こうした問題に取り組んでいます。



海底地震計で記録された、海水と不均質な海洋リソスフェアで散乱して長いコーダが生じた地震波形（Po/So波）の例

6. 大規模並列計算と可視化

私が地震動シミュレーションを題材に学位論文をまとめたのは二十数年前のことです。当時はコンピュータは遅く、とても満足いく計算はできませんでした。「将来コンピュータ速くなれば・・・」と願ってたところ、本当にそうになりました。「京」は、大学院時代の計算機の500万倍の演算性能を持ちます。数千～数万個のCPUを用いた大規模並列計算のための道具＝プログラム開発も、サイエンスの実現に向けた重要な研究テーマです。アクセラレータ（GPGPU）を用いた地震・津波計算コードの開発も、地震研内外の研究者と協力して進めています。

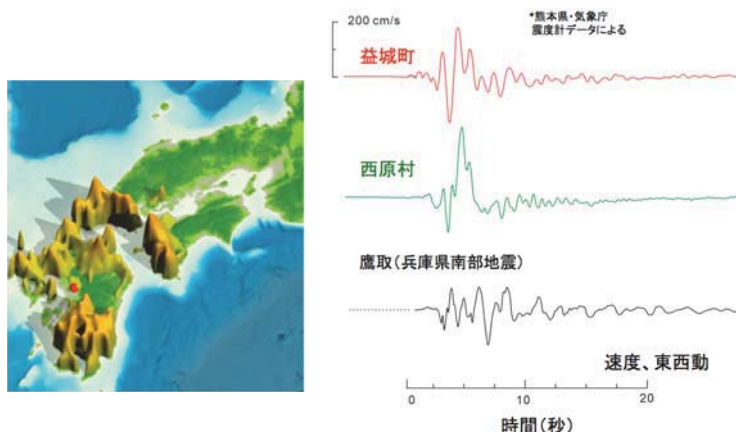


「京」コンピュータ（理化学研究所計算科学研究機構）見学

5. 熊本地震による断層近傍の強震動

2016年4月14日から始まった熊本地震の一連の活動では、震度7の激しい揺れを2回含む、広範囲での活発な地震活動により被害が拡大しました。震源断層直上の益城町や西原村で地震波形を調べると、地動速度が最大200cm/sにもなる、兵庫県南部地震（阪神淡路段震災）の鷹取地点の記録を超える強いものでした。しかも、揺れ成分には、木造家屋を倒壊させる、周期1～2秒の成分が強く含まれていることもわかりました。今回の地震被害の様相と一致します。さらに、西原村では、強い揺れの時間はせいぜい十数秒でしたが、周期4秒前後で応答レベルが350cm/sにもなる強烈な長周期地震動が潜んでいました。観測されたのは地表に断層が現れた周辺に限られることから、断層運動による地面の大変動に伴なうものと思われます。これまで経験した、堆積平野で増幅され、揺れが何分も続く長周期地震動とは別物です。なお、長周期地震動は、超高層ビルや大型石油タンクと共振して被害を起こすため、現代社会の新たな防災課題となっています。

今後、コンピュータシミュレーションにより、特異な強震動と長周期地震動を再現するとともに、高層ビルへの影響を建築分野の研究者と協力して進める予定です。1999年台湾集集地震（M7.7）でも同様の地震波形が記録されたことから、比較検討を進めているところです。



熊本地震の揺れ（60秒後）の広がるようす（観測データを用いて可視化）と、断層近傍の益城町、西原村で記録された本震（M7.3）の強震動。兵庫県南部地震の鷹取地点の記録との比較。

☆ 研究室メンバーとテーマ

- ❖ 原田 智也（特任助教）南海トラフ地震の震源評価（強震動、津波解析、史料解析）
- ❖ 大石 祐介（研究員）海底ケーブル津波計を用いた津波浸水予測と避難シミュレーション
- ❖ Chauanbin Zhu（外来研究員）距離減衰式を用いた長周期地震動の予測
- ❖ 大峽 充巳（修士1）高密度地震観測データ同化に基づく強震動のリアルタイム予測研究

☆ 卒業生の研究テーマ&進路

- ❖ 向井さん（2017年修士）「関東平野における長周期地震動生成の特徴的方位変動」、情報コンサルティング会社
- ❖ 河本くん（2017年修士）「表面波伝播の地域的性が気象庁マグニチュード推定に与える影響」、総務省統計局
- ❖ 長尾さん（2016年修士）「3次元グリーン関数を用いた震源メカニズムのリアルタイム決定・・・」、情報通信会社
- ❖ 干畑さん（2016年修士）「不均質な海底地形がT相の生成及び伝播に与える影響評価」、技術コンサルタント会社
- ❖ 竹本さん（2014年博士）「S波コーダ解析に基づく表層地盤の地震波増幅特性の定量評価」、気象庁
- ❖ 武村さん（2013年博士）「不均質な地下構造を伝播する不均質な地震動の特性—高密度地震波解析と数値シミュレーションに基づく評価」、防災科学技術研究所
- ❖ 岩井さん（2012年修士）「ベタスケール大規模数値計算に向けた地震波動場の自動可視化」、特許庁
- ❖ 早川さん（2008年博士）「高密度地震観測データ解析と大規模数値シミュレーションに基づく関東平野の長周期地震動の生成と伝播に関する研究」、防災環境システムソフト会社
- ❖ 竹内さん（2007年修士）「関東の地震と震度の異常」、ソフトウェア会社
- ❖ 小谷さん（2004年修士）「濃尾平野の3次元地下構造と強震動」、情報システム会社

メンバー（* 協力教職員）

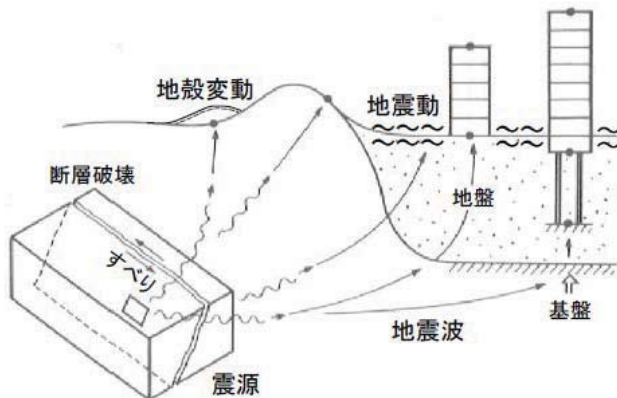
瀬瀬一起（教授）koketsu@eri.u-tokyo.ac.jp

三宅弘恵*（准教授）hiroe@eri.u-tokyo.ac.jp

鈴木舞・司宏俊・Rami Ibrahim（研究員），小林広明（研究生），尹淳恵・Diao, Hongqi・高野和俊・村上譲・棟田隆元（大学院生）

研究テーマ

地震という現象の始まりは震源の断層運動ですが，それによる揺れが地球を伝わる現象（地震波）や，伝わった先の地面が揺れたり（地震動），隆起・沈降する現象（地殻変動）があって完結します（下図）．この研究室では「地震の揺れを科学する¹」を研究テーマとしており，災害につながる強い揺れ（強震動）や長周期地震動など，地殻変動を含むいろいろな揺れが研究対象です．



震源の解析

おおもとの震源は当然，揺れに大きな影響を及ぼすので，そこでの断層運動の詳細（震源過程）を明らかにする研究を進めています．

たとえば，関東大震災という大きな災害をもたらした1923年関東地震には，80年以上前にも関わらず，かなりの地殻変動や地震動のデータが残っており，それらを解析することにより，この地震は相模湾から沈み込むフィリピン海プレート上の断層面が，図1の矢印の方向に急激にすべったことで発生したことがわかりました．すべりの分布は均等ではなく，大きくすべった部分が神奈川県西南部と浦賀水道に存在します．これらはアスペリティと呼ばれ，揺れの発生には鍵となる要素ですので，その実体を解明することは重要な研究課題です．本研究室が参加した大都市大震災軽減化特別プロジェクトでは，この断層面を横切る反射法探査が行われ，アスペリティ部分でプレート上面が地震波を反射させる効率が弱いことを発見しまし

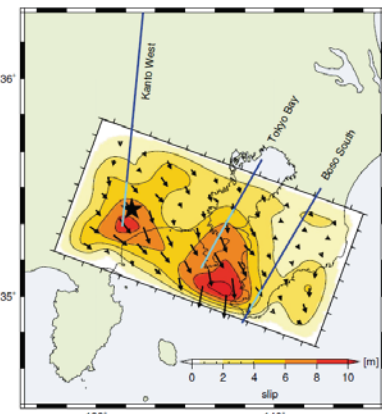


図1. 1923年関東地震の断層面と断層すべりの分布

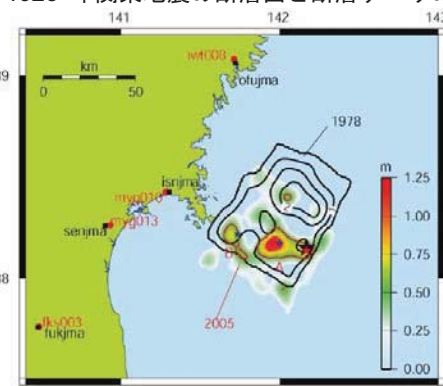


図2. 1978年と2005年宮城県沖地震のすべり分布の比較

た（図1の中の測線の水色部分）．このことはアスペリティの物性について大きな示唆を与えています（Science 誌2005年7月15日号に掲載）．

また，宮城県沖地震に対しても同様の解析を行って（図2），1978年の地震の南側のアスペリティが2005年の地震のときにも破壊したことを確認できました（2008年 Journal of Geophysical Research 誌に掲載）．しかし，2011年東北地方太平洋沖地震は，震源域に宮城県沖の領域を含むにも関わらず，まったく異なるすべり分布（図3）を示すことが明らかになりました（2011年 Geophysical Research Letters 誌に掲載）．

このほか，GPSの全国ネットワークで観測された平時の地殻変動を解析して，東北地方太平洋沖地震の直前9年間に，スロースリップが広い範囲で起きていることを発見しました（博士論文が受賞，2015年

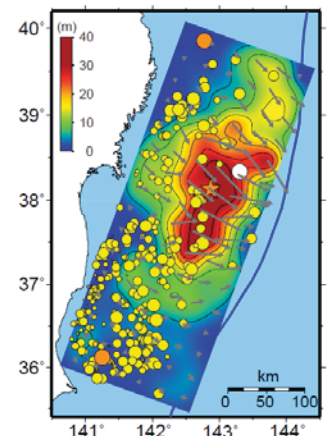


図3. 東北地方太平洋沖地震の断層面と断層すべりの分布

¹ 同じタイトルの本がありますが，われわれが元祖です．

Nature Communications 誌に掲載). 強震動における**ディレクティビティ効果**も兵庫県南部地震以来, ネパールのゴルカ地震(2016年 Scientific Reports 誌に掲載)や熊本地震まで継続的に研究を行っています.

地下構造の解析

揺れに関する研究を行う上で重要なのは, 地球の内部構造, 特に身近にあって地震波・地震動や地殻変動に大きな影響を及ぼす地殻やプレート, あるいはそれらを覆う堆積層の構造を解明することです. そのために地震波の**レイトレーシング法**を開発したり, 日本列島下の**S波速度**や**Q値**の**トモグラフィ解析**を行いました(図4). また, 地震探査と重力探査のデータを併せてインバージョンする手法も開発して, 関東平野や大阪平野の精密な地下構造を明らかにしました(図5). 政府の地震調査研究推進本部による**全国1次地下構造モデル**はわれわれの研究室が作成したものです. しかし, 現実的な地震動を再現できるような構造モデルを得るためには, 揺れの波形そのものを使うなど, モデル化の画期的なブレークスルーが必要で, その探求も併せて行っています.

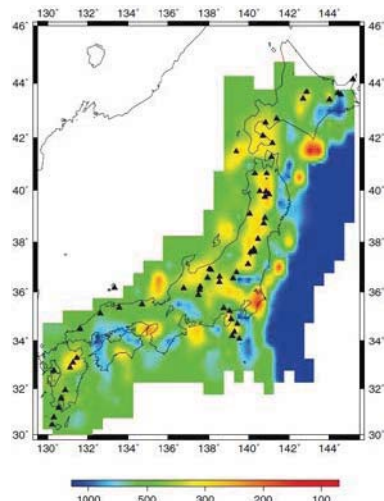


図4. 深さ40kmのQ値分布(赤いほど減衰大). 火山帯で低Q, 太平洋プレートで高Qが見える

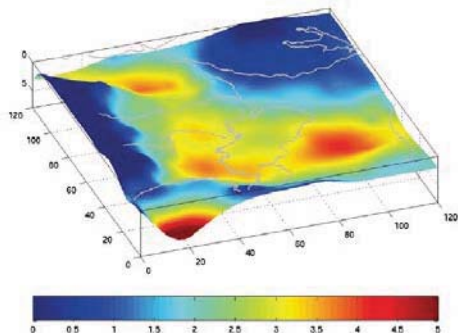


図5. 関東平野の三次元地下構造. 堆積層の下にある硬い岩盤(基盤)の形状がkm単位で示されている

地震動の観測とシミュレーション

地震波・地震動や地殻変動の研究も, その原動力と

なるのは観測とシミュレーションです. 地震動がいかにより形成されるかを明らかにするため, 伊豆・駿河湾地域, 首都圏南部などで**強震観測網**を展開しています. 最近の新潟県中越地震, 福岡県西方沖地震, 能登半島地震, 新潟県中越沖地震, 岩手・宮城内陸地震, 熊本地震などでは臨時の観測を行いました.

また, 関東平野には各種機関の強震観測点が約600点ありますが, そのデータを広く収集するシステム(SK-net)を共同開発し, 平野内を**長周期地震動**がいかにより伝わっていくかを明らかにしました(Science 誌 2000年5月19日号に掲載). 西の山側に比べて東京湾岸では伝わる速度が非常に遅いため両者の波面が離れてしまいます. この分離を補うように新たな斜めの波面が現れて平野を横切っていくのが見えます(図6). さらに, 図5の三次元地下構造に対して**地震動シミュレーション**を行い, この観測事実がほぼ再現できることを確認しました(図7). こうしたデータの活用と新しいシミュレーション手法の開発を通して, 地震調査研究推進本部の2009年と2012年の**長周期地震動予測地図**はわれわれの研究室が作成したものです.

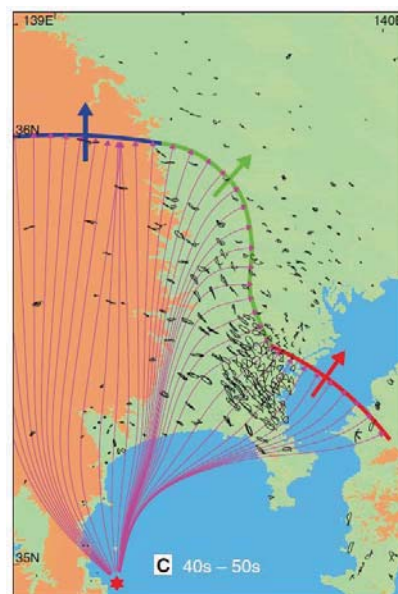


図6. 伊豆半島東方沖の地震(星印)から地震動が関東平野を伝わる様子

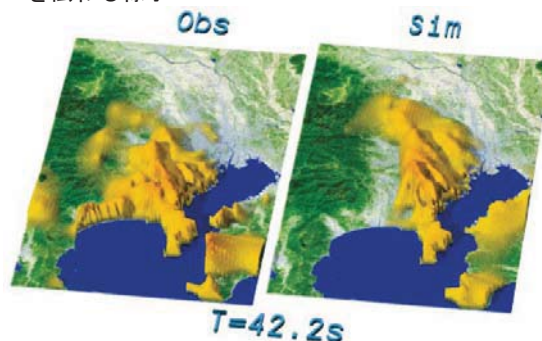


図7. 地震動伝播の観測(Obs)とシミュレーション(Sim)

上嶋 誠 (Makoto Uyeshima)

固体地球科学研究グループ

地震研究所 地震予知研究センター 火山噴火予知研究センター(併) 教授

居室: 地震研究所1号館403号室

e-mail: uyeshima@eri.u-tokyo.ac.jp TEL: 03-5841-5739

専門: 固体地球電磁気学

1. 教員からのメッセージ

地球電磁気観測・データ解析に基づいて、地震・火山活動などのローカル・リージョナルスケールから、プレートやブリュームテクトニクスなどのグローバルスケールに至る、**地球内部変動ダイナミクスの解明**を目指し、研究を進めています。電磁気学で用いることの出来る武器は、**電気伝導度**、**磁化**、**電気的分極**などで、様々な観測手法を用いて、電気伝導度、磁化、電気的分極の時空間分布を推定します。そのことによって、**水・メルト分布**、**温度**情報の抽出や、**応力変化**、**地下水流動**をとらえることが可能となります。

アウトドア派の学生にとっては、地震発生域や火山地帯に赴いて自力でとったデータに基づいた研究が展開出来ますし、**インドア派**の学生にとっても、構造解析コードの開発や地殻活動に伴う様々な電磁現象を説明するためのコード開発など、やるべきことが山積しています。興味を持たれた方は、ぜひ、一度、私たちの研究室をお訪ね下さい。

2. 主な研究のターゲット

- 1) 電気伝導度構造解明を目指した日本各地での電磁気観測
- 2) 火山地帯(主として伊豆諸島域)やスロースリップ域(四国西部等)での電磁気モニター観測
- 3) 比抵抗構造インバージョン手法の開発(PTIVインバージョンなど)
- 4) 超長周期データを用いたアジア地域にわたる広域深部構造の解明
- 5) 電磁気学-地震学-岩石学等の集約によるレオロジーモデルの構築

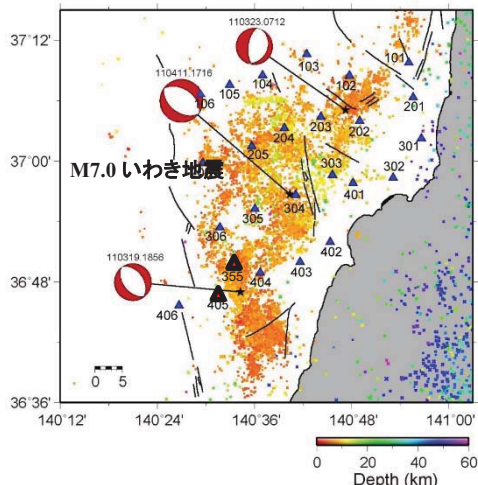
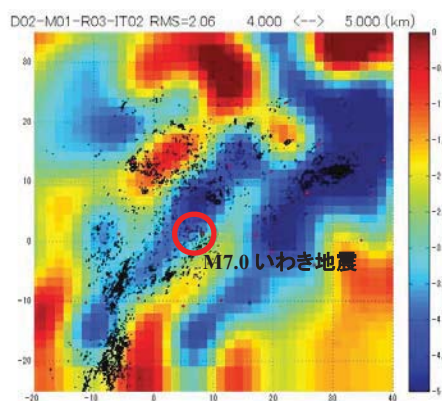


図1 いわき、北茨城地域でのMT構造探索



2011年東北太平洋沖地震後に活発な誘発地震活動が発生した北茨城-いわき地震活動帯での研究例。

図1に▲で示す25点でMT観測を行いました。解析の結果、推定された**比抵抗構造**を図2に示します(左: 4-5km 深での鳥瞰図, 右: 最大誘発地震のM7地震震源域を東西に切る断面図)。

多くの地震が電気の流れにくい寒色系の場所で起こっています。また、M7いわき地震の震源直下には流体の存在を示唆する低比抵抗域(暖色系の色で表示)が分布しています。跡津川断層系、岩手宮城地震震源域など他の内陸被害地震域でも同様な描像が得られており、地震発生に地下流体が積極的な役割を果たしていることが明らかになってきています。

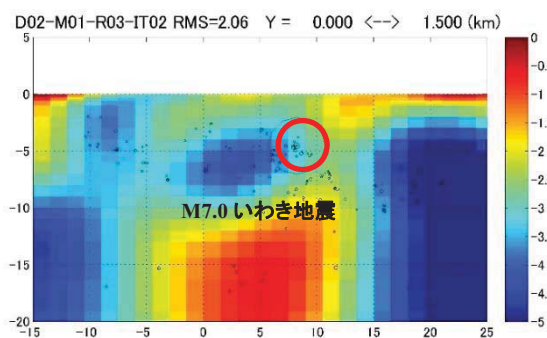


図2 いわき、北茨城地域で推定した比抵抗構造

豊後水道長期的スロースリップ発生メカニズムを探るための**長基線地電位差観測**.

図3に示すように、近年豊後水道域では、1997年、2003年、2009年とおおよそ6-7年おきに、長期的スロースリップイベントと呼ばれる地殻変動が観測されてきました(曲線で囲まれた領域はプレート境界面で10cm以上の累積滑りが観測された領域)。これは、フィリピン海プレート沈み込みによる歪蓄積を、地震では無いゆっくりとした滑りで開放するものです。このようなイベントの発生する場がどのようなレオロジー的性質を持っているか、発生に地下流体の関与があるのか等を明らかにするため、図3で示すような観測を2016年3月より継続しています。今後の構造解析やスリップ発生時や南海道地震時の電磁気イベントの有無の検証が待たれます。

図3 四国西部における長基線地電位差観測と磁場観測

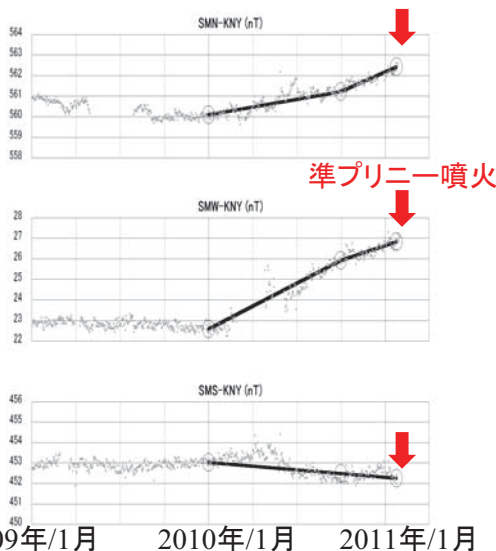
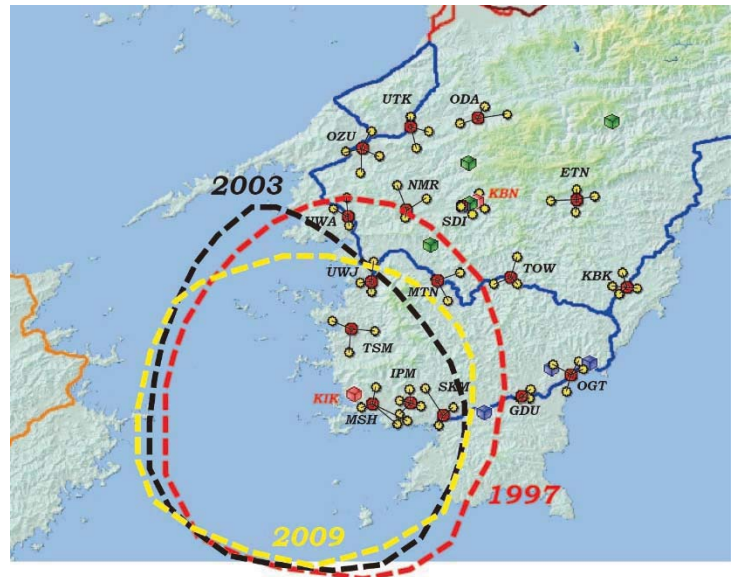


図4 霧島新燃岳噴火に先行した全磁力変化

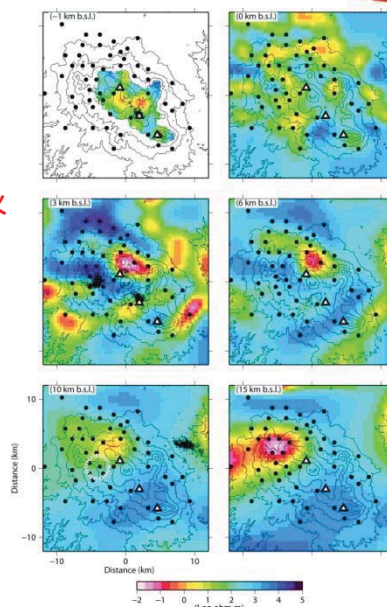
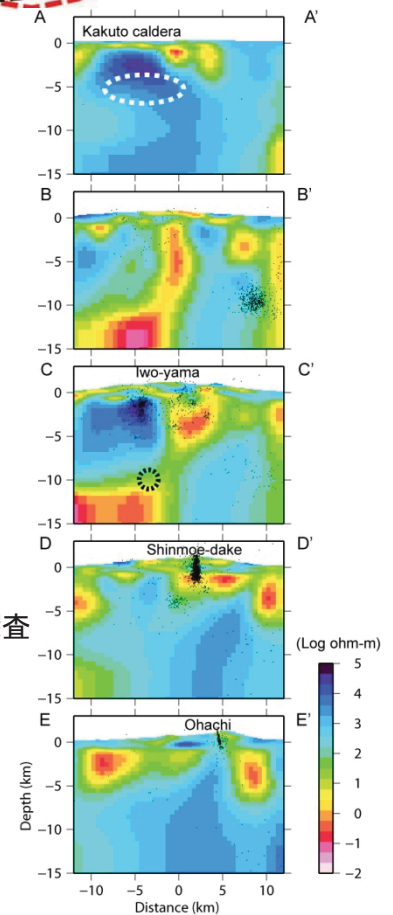


図5 霧島周辺でのMT構造探索

2011年1月に準プリニー式噴火を起こした霧島における電磁気観測

- ・全磁力観測(図4)からは、噴火前のマグマ蓄積過程における熱消磁(キュリー点を超えることによって磁化を失う現象)を示唆する全磁力変化がとられました。最近の活動でも同様の変化が捉えられています。
- ・2010年から2011年にかけてMT構造探索を実施し、3次元構造解析から、深部マグマ溜まりとマグマ供給系を示唆する低比抵抗領域(暖色系)が推定されました(図5. 左(平面図), 右(断面図))。



3. 2018年度の研究室の構成

上嶋 誠(准教授), 畑 真紀(特任研究員), Kittipong Phueak-Im(internship学生: タイ国 Mahidol大学・学部3年生)。また、火山センターの小山崇夫助教, 観測基盤センターの小河勉助教とは、協力し合って電磁気研究を進めているほか、様々なプロジェクトにおいて、地震研内の多くの関連研究者や、国内外の大学・関連研究機関研究者と共同研究を推進しています。

アクティブ・テクトニクス / 活断層 - 震源断層システムの解明

佐藤・石山研究室 地震予知研究センター

<http://www.eprc.eri.u-tokyo.ac.jp/members/satow/>

<http://www.eprc.eri.u-tokyo.ac.jp/staff/ishiyama/index.1.html>

2017 下北巡検



佐藤比呂志 教授 (構造地質学) satow@eri.u-tokyo.ac.jp (1-406 号室 TEL: 03-5841-5737)

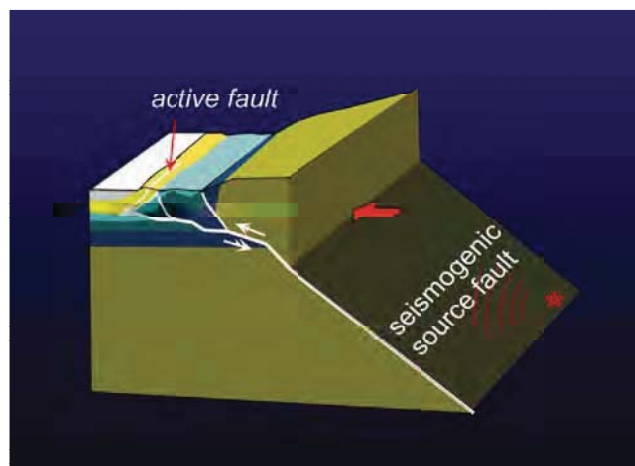
石山達也 助教 (変動地質学) ishiyama@eri.u-tokyo.ac.jp (1-410 号室 TEL: 03-5841-5689)

橋間昭徳 (特任助教) hashima@eri.u-tokyo.ac.jp 加藤直子 (特任研究員) naoko@eri.u-tokyo.ac.jp

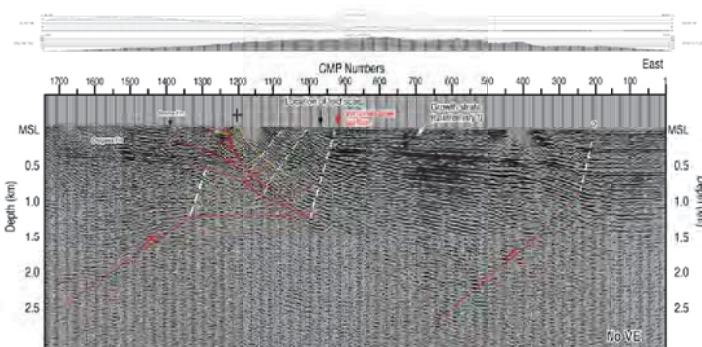
大塚浩二 (特任研究員) Anne Van Horne (特任研究員) Johan S. Claringbould (特任研究員)
池口直毅 (D2)

活断層 - 震源断層システムの研究

地表近傍の地質・地形学的情報から得られる活断層・活褶曲と、地震波を発生する震源断層の関係を明らかにするための研究を行っています。震源断層は日本列島の長い地質構造形成プロセスの中で生み出されたものですから、震源断層の位置や形状などを明らかにしていくことは、日本列島の形成史を具体的に明らかにしていくことに繋がります。活断層 - 震源断層システムの研究には色々なやり方がありますが、現在は、主として構造地質学・変動地質学と反射法地震探査という直接的に地下構造をイメージングする手法を組み合わせる研究を行っています。1995 年の兵庫県南部地震以降、大規模な内陸被害地震については、こうした手法で震源断層と地質構造の関係を明らかにしてきました。



活断層 - 震源断層システムの概念図。とくに褶曲帯では活断層と震源断層の関係は複雑です。



呉羽山断層帯 (富山) 浅層高分解能反射法地震探査断面

地下 2km 程度までの浅部の構造は、地震研究所が所有している反射法地震探査システムで独自にデータを取得し、解析することができます。実際の地震発生層までの地殻構造を明らかにする研究は、探査会社と共同でデータを取得して実施しています。こうして得られた物理探査データは、周辺の地表地質データ・ボーリングデータなど、地質学的なデータによって解釈します。これらの断面の妥当性を検討するために、バランス断面法などによる地質構造の解析を経て、最も妥当な活断層 - 震源断層システムの形状を明らかにしています。

島弧 - リソスフェアダイナミクスの研究

プレートテクトニクスは大きな成功を治めましたが、変形するプレート内部のダイナミクスについては、様々な謎が残されています。変形するプレート内部のダイナミクスの定量的な理解なくしては、現実的な地震の発生予測も達成できません。このためにはリソスフェア全体の構造をより高い精度でイメージングしていくことが必要ですし、構成岩石も含めてそれらの物理特性を知る必要があります。また、これら地質学的時間スケールでの長時間での変形を数値実験として再現していくことが重要な課題となっています。現在は、日本海東縁での構造探査や、富士川河口断層帯などでの構造探査をもとに研究を進めていますが、将来的にはより総合的なダイナミクスの理解についての研究を進めます。

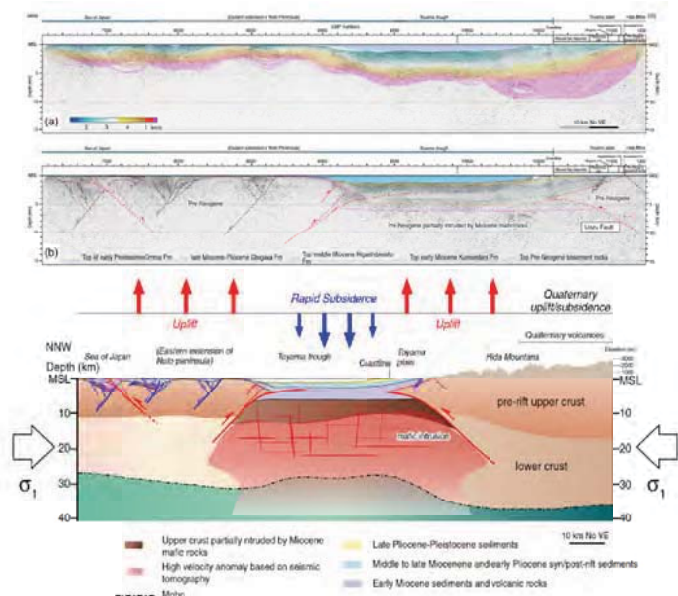
共同研究体制

地殻構造や地震活動については、日本全国の大学研究機関のほか、地震研究所の岩崎貴哉教授・平田 直教授・蔵下英司助教らと、リソスフェアダイナミクスについては、南カリフォルニア大学のOkaya 准教授やパデュー大学の Freed 教授らと共同で行っています。

その他

週 1 回のテクトニクス・セミナーを行っています。研究室には反射法解析システム・解釈ソフト・重力解析ソフト・地質構造解析ソフト・GIS など、各種リソースが揃っています。また、研究室 OB は大学・研究機関の研究員のほか、民間企業（電力・石油など）で社会人として活躍しています。

深部構造探査による富山トラフの新しい構造解釈



地質の調査もします



活断層や地震断層の調査もします（2016 年熊本地震の地表地震断層）



東北地方太平洋沖地震による応力変化や地殻変動の3次元シミュレーション

反射法地震探査でイメージングされたウェッジスラスト構と、個別要素法による再現実験



活断層の地質構造・地下構造や変動地形、活動的縁辺域のダイナミクスなどに興味のある、意欲ある人を歓迎します

地球熱学（地下温度構造）

山野 誠（海半球観測研究センター）

yamano@eri.u-tokyo.ac.jp

03-5841-5720

「地下の温度構造はどうなっているのか？」

これは、地震の発生、火山活動からマントル対流に至るまで、地球の中で起きているあらゆる現象を考える際に基礎となる問題です。私たちは、いろいろな手法で地下温度構造を調べ、そこで何が起きているのかを研究しています。

地下の温度を推定するには、地表面から流出する熱量（**地殻熱流量**）を知ることが必要です。私たちは、海域を中心に熱流量の測定を行いながら、数値モデル等も用いて、日本列島をはじめとする**沈み込み帯の温度構造**を求めようとしています。

海域・陸上のフィールドでの観測、データ解析、モデル計算などに興味を持っている人を歓迎します。

沈み込むプレートと巨大地震発生帯の温度構造

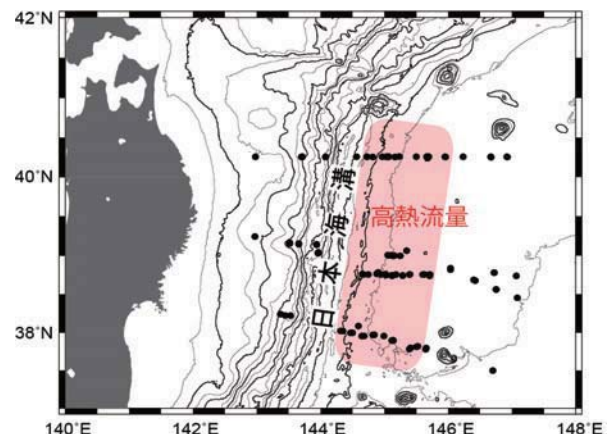
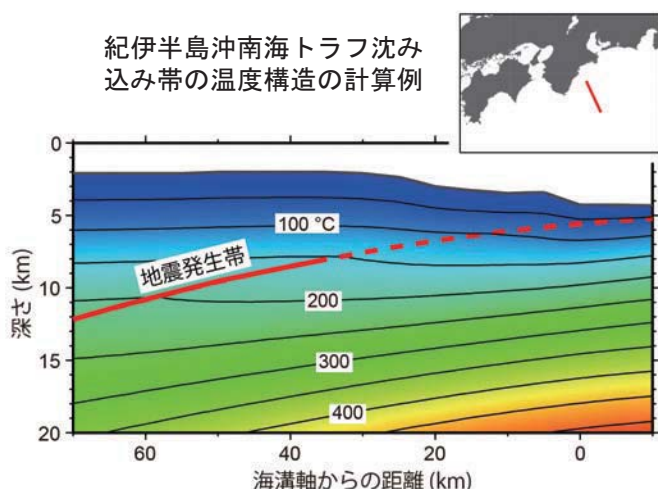
現在の主な研究対象は、**南海トラフ**や**日本海溝**に沿った沈み込み境界です。これらの海域で熱流量測定やモデリングを行うことにより、プレート境界で発生する**巨大地震の震源域の温度構造**を求め、そこで起きている現象についての情報を得ることを目指しています。

例えば、日本海溝の東側では、沈み込みによる海洋プレートの変形に伴う、異常な高熱流量地域を発見しました。南海トラフにおいても、熱流量の分布と沈み込むプレートの地殻構造の関係が明らかになってきました。

これらの熱流量異常には、**沈み込む海洋地殻の中の水の流れ**が深く関わっていると考えられます。水・熱の流れと、それらが地震発生帯に及ぼす影響を解明するため、電磁気や地殻構造など、さまざまな分野との共同研究を行うとともに、千島海溝やマリアナ海溝など他の沈み込み帯での調査も進めようとしています。



海域での熱流量測定
（この装置を堆積物に突き刺す）

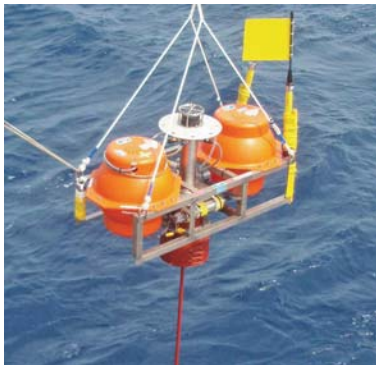


日本海溝における熱流量測定点と
高熱流量が測定された範囲

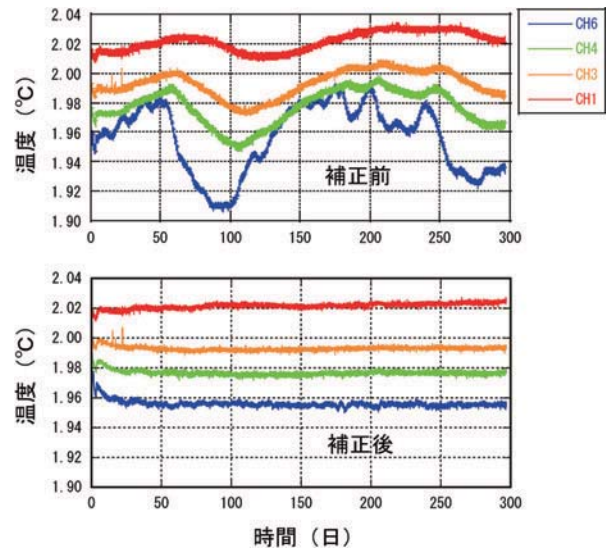
新しい観測機器や解析手法の開発

海域での熱流量測定は、通常、海底堆積物に温度センサーを突き刺すという方法で行います。しかし、水深が浅い海域では、海底水温の時間変動の影響が大きく、この方法は使えません。そこで私達は、堆積物中の**温度の長期計測**を行い、そのデータから**水温変動の影響を除去**するという、新しい測定手法とそれに用いる機器を開発しました。この方法により、実際に三陸沖や紀伊半島沖で熱流量の値が得られています。

さらに、より簡便な装置を用いた浅海域での熱流量測定方法や、堆積物中の温度分布の長期計測により**海底湧水活動**の時間変動を調べる手法の開発も進めています。また、このような長期計測を、他の海底観測と組み合わせて行うことも試みています。



堆積物中の温度を長期計測する装置



海底水温変動の影響の補正

その他の研究テーマ

地下温度構造や地表面付近での熱輸送に関して、以下のような研究も行っています。

・陸域観測井の温度データに基づく地下温度構造推定

地震観測網（Hi-net）などの観測井における温度データを解析し、地表面温度の変動等の影響を除去して熱流量を求め、その結果に基づいて地下温度構造を推定する。

・地球熱学的手法による過去の気候変動の復元

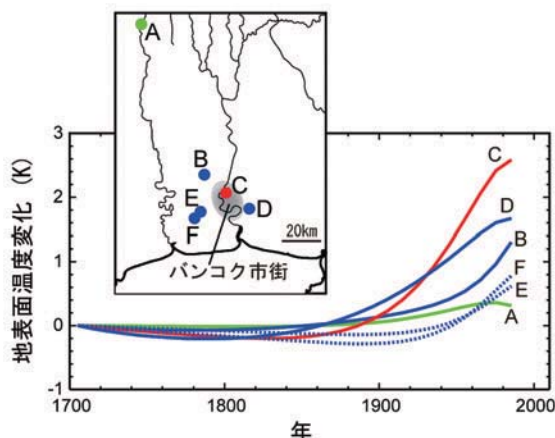
地表面温度の変動が地下温度分布に影響をすることを逆に利用し、掘削孔内の温度分布から地表付近の環境の変動を復元する（東京、大阪、台湾、タイなどで）。

・断層近傍の温度構造と間隙水の流動

海溝周辺に発達する正断層・逆断層付近での熱流量測定とモデル計算により、断層に沿った間隙流体の流れや温度構造と、その時間変動について調べる。

・背弧海盆の温度構造と形成・発達史

日本海やオホーツク海などの背弧海盆において熱流量の分布を調べ、背弧拡大による海盆の形成、拡大後の火成活動、冷却沈降の過程等について研究する。



掘削孔内の温度分布から復元した地表面温度変動（バンコク周辺地域の例）



台湾の観測井での温度測定

地震発生過程の研究

加藤 愛太郎 (准教授)
Aitaro KATO (Associate Prof.)
連絡先: akato@eri.u-tokyo.ac.jp
居室: 1号館609号室



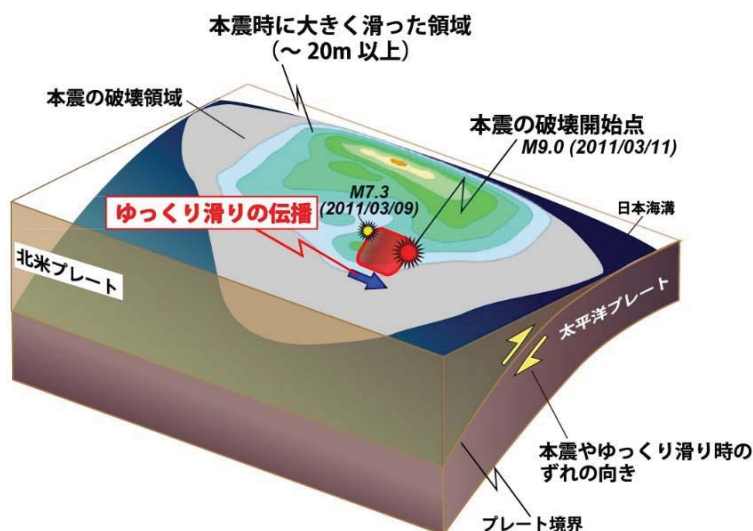
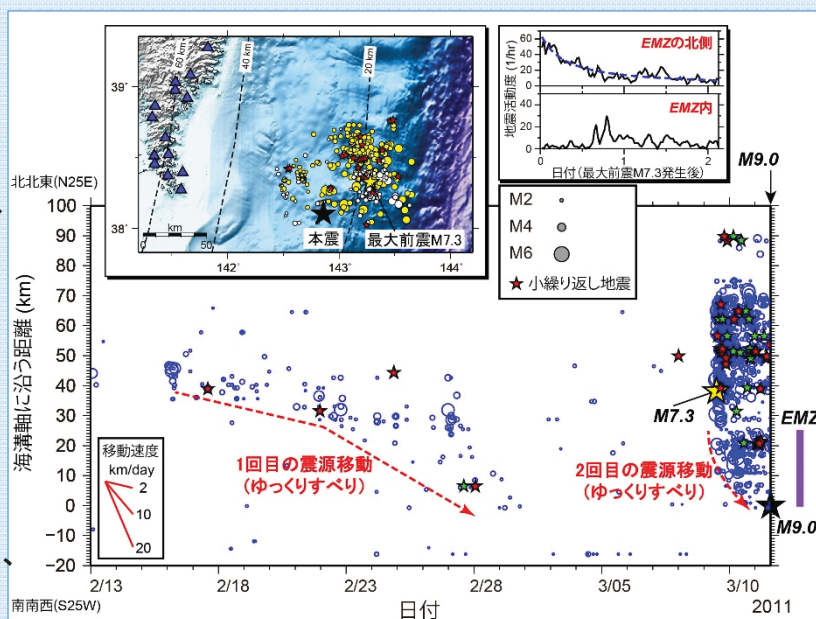
1) 地震活動の研究

- ◆ ゆっくり滑りと地震発生について
- ◆ 低周波地震の特性把握
- ◆ 高精度震源決定

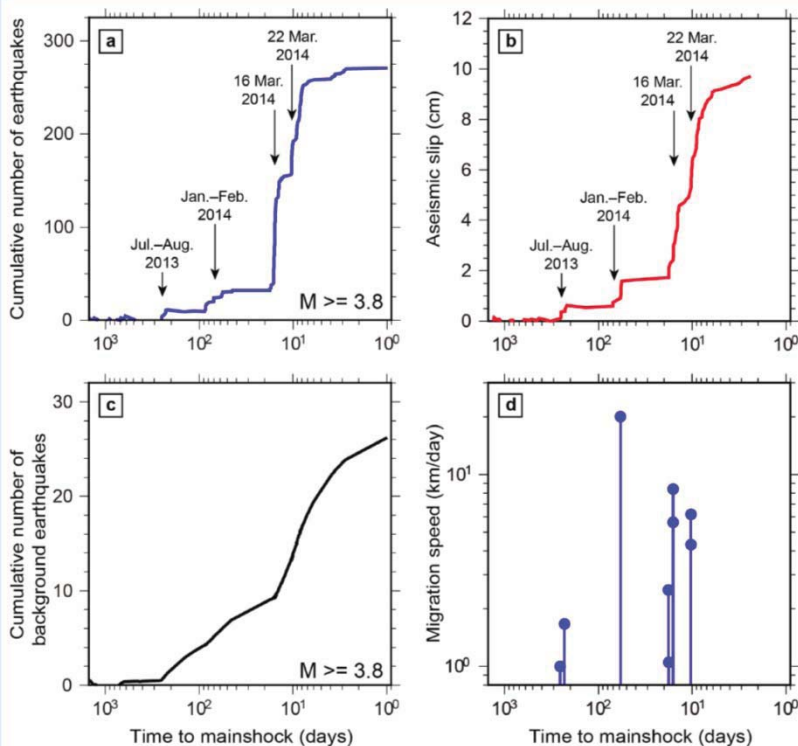
地震はなぜ起きるのか?、地震が起きる仕組みとは?、という素朴な疑問を常に抱きながら地震の研究を続けています。

地震とは、震源域に蓄積されたひずみエネルギーを断層の滑り(すべり)運動により解放する現象です。通常地震では、断層が高速に滑り(1秒間に約1mの滑り)地震波を放射することで地表が揺れます。地震のマグニチュード(M)が大きいほど、地震波の揺れの強さは大きくなります。近年、ゆっくり滑りと呼ばれる、ゆっくりと断層が動いて地震波を放射しないでエネルギーを解放する特異な現象が世界中で見つかりました。そして、プレート境界の断層では、ゆっくり滑りと高速な滑りの両方が起きていて、お互いに影響を及ぼしあうことで複雑な滑り現象が起きていると考えられています。

私は、国内外で発生した大きな地震の前に観測された地震活動(前震活動)の解析・研究を進めています。例えば、2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)や2014年チリ北部地震(M8.2)の発生前には、地震活動の移動を検出し、本震の震源近傍でゆっくり滑りがプレート境界面上で起きていたことを示唆する結果を得ました。その他の大きな地震の震源近傍でも、地震の発生前にゆっくり滑りが起きていたことを示唆する事例をいくつか発見しています。これらの前震活動には、活発なものから極めて低調なものまで幅広い多様性が見られ、複雑な様相を呈します。どのようにしてこのような多様性が生じるのか、ゆっくり滑りが地震発生にどのように関与しているのか、といった着眼点で研究に取り組んでいます。



東北地方太平洋沖地震前に見られたゆっくり滑りの伝播を示唆する地震の移動現象(上図)と概念図(下図)。本震時の滑り量が大きな領域よりも深い側で、ゆっくり滑りが起きていたと推定される(Kato et al., 2012, Science)。

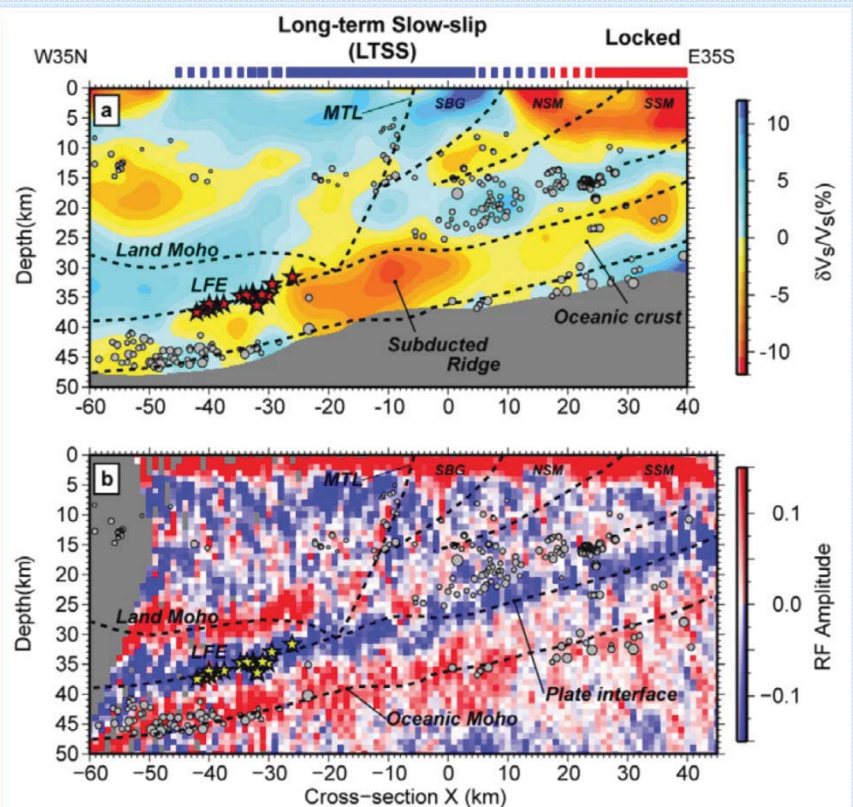


左図) 2014年4月にチリ北部で発生した Iquique地震 (M8.2) の発生に至るまでの地震活動解析をおこなった。2008年から2014年までの波形データとUSGS地震カタログを用いてMatched Filter法により震源カタログを新たに構築した。本震発生の約270日前から、地震活動度、繰り返し地震から推定される非地震性滑り量、ETASモデルのbackground rateが間欠的に増加し始め、その増分も時間とともに大きくなり、本震発生に至ったことが明らかとなった。また、震源移動現象の発生頻度も本震発生に向かって増加した傾向が見られた。これらの解析結果に基づくと、地震性すべりに加えて非地震性すべりもプレート境界面上で進行し、本震破壊領域の端で固着が間欠的に緩み破壊域への応力集中が生じたことで本震の発生が促進されたと考えられる (Kato et al., 2016, Scientific Reports)。

2). 地震発生域の地下構造研究

- ◆ 内陸地震とリフトの再活動
- ◆ ゆっくり地震発生域の地震学的構造の特徴
- ◆ 地殻流体と地震発生

右図) 東海スロースリップ域において推定された地下構造断面図。S波の速度構造とレシーバ関数構造を示す。東海スロースリップ域には、S波速度が顕著に遅く、ポアソン比の高い領域が沈み込む海洋性地殻内に存在することがわかる。このことは、海洋性地殻内に高圧状態の流体が存在することを示唆する。その深部の低周波地震(LFE)の発生域でもS波速度が依然低い状態であり、流体圧の高い状態が深さ約40 kmまで続いていると解釈でき、スロースリップの発生に流体が寄与していると考えられる (Kato et al., 2010 GRL)。



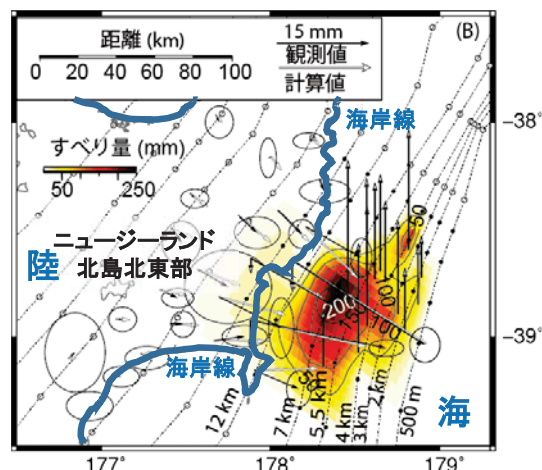
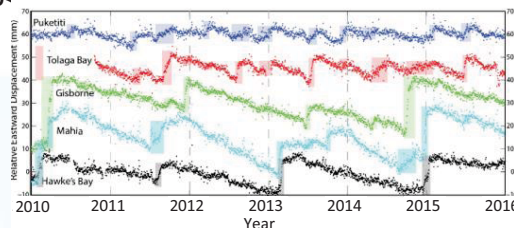
本研究室では、地震に生起する様々な現象を多面的に調査・研究することで、地震発生過程の理解を深めるために研究を行っています。地球内部で進行する未知の地震現象を探求することを重要な研究テーマとしています。

海域地震学

海域での地震・地殻変動観測および地震波構造調査で解明する、プレートの沈み込みと地震発生の詳細な関係

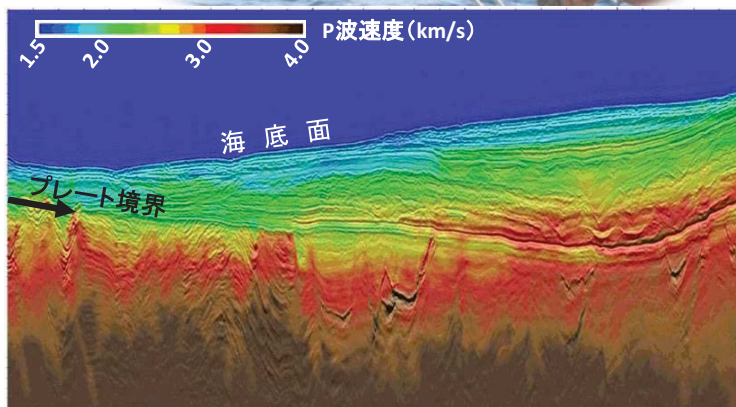
スロースリップ(SSE)から地震まで

沈み込み帯では海側プレートが陸側プレート下に沈み込むことに伴い、そのプレート境界では多様な断層すべりが発生しています。例えば、通常の地震活動も活発にみられますし、地震計ではとらえられないほどゆっくりとした断層すべりであるスロースリップ(SSE)なども、稠密な地震・地殻変動観測網によって明らかになってきました。これらの多様な断層すべりの特徴は、その断層面であるプレート境界の摩擦特性に支配されていると考えられます。



左図) ニュージーランド北島沖合で、～2年周期で発生するスロースリップを複数回とらえた、ノギリの歯のような陸上GPSデータ。上図) 海底圧力計観測網でとらえた2014年9～10月に海域下で発生したスロースリップの、高解像度すべり量分布。(当研究室の国際共同研究)

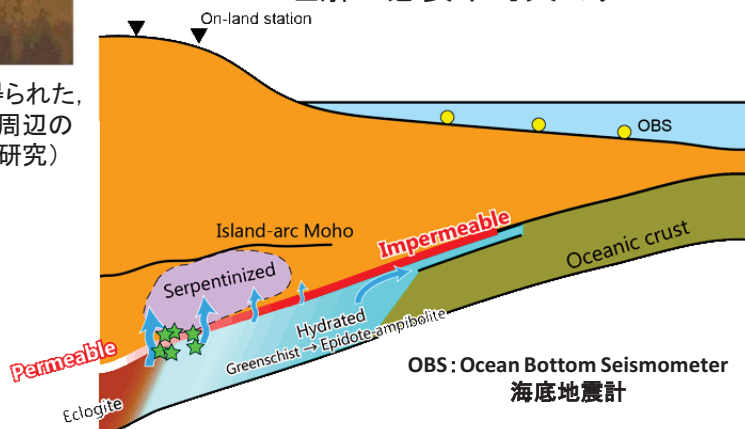
海底地震計



上図) 地震波構造調査における計算波形モデリングによって得られた、高解像度地震波速度構造と、地震波反射断面図。プレート境界周辺の地震波速度構造が詳細に明らかとなる。(当研究室の国際共同研究)

沈み込み帯のダイナミクス

最近の研究によって、海側プレートが沈み込みに伴い、多量な水を地球内部まで運んでいくことがわかってきました。海洋下における沈み込み過程を把握することは、地震発生メカニズムのみならず、より大きなスケールの沈み込み帯のダイナミクスを理解するうえで重要です。



上図) 海陸統合レーザ関数解析の結果から推定される、海域から陸域までの沈み込む海洋性地殻の脱水反応、水の流路と、低周波地震活動(緑★)、およびマンツルの蛇紋岩化作用(紫領域)のモデル。(当研究室大学院修了生、悪原君(現在は地震研助教)の研究)

国際共同研究

日本周辺の沈み込み帯を調べていただけでは、沈み込み帯の全貌解明には至りません。世界の沈み込み帯との比較研究が重要と考えます。研究目的に適した場所を求め、世界の研究機関と国際共同研究を進めています。

写真) アメリカの調査観測船上にて、海底で1年間観測後の海底観測機器の回収状況をモニターするアメリカ・ニュージーランドの研究者。



海域観測でしかできないこと

1. 陸域ではとらえることのできない微小な地震・地殻変動の観測
2. プレート境界の断層すべり(地震・SSE)分布の詳細な把握
3. プレート境界面の構造(形状・物性)の詳細な把握

海域観測ではできないこと(頭を使うところ)

理想的な環境下での地震・地殻変動観測

➤観測点での海水の存在

海面上の波の衝突が雑音源となり、目的の信号の判別がむづかしくなる。波動場シミュレーション計算でも、境界条件が複雑になる。

➤海底下堆積層の存在

水を多く含む堆積層は、地震波速度が非常に遅く、またエネルギーの減衰も大きくなる。また、地震波のエネルギーがトラップされ、堆積層内での多重反射が目的の信号に対する雑音となる。

➤そもそも海底には電波が届かない

陸域のようなGPS観測は不可能なので、海底地殻変動観測としては海底圧力計を用いた海底上下変動観測が主体となる。

GPUを使った並列計算によるデータ解析

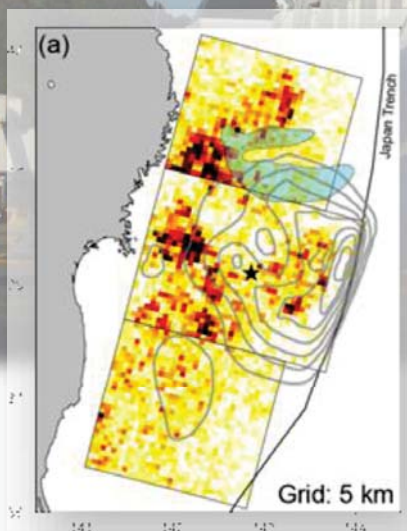
近年、海底観測で取得するデータも膨大な量となってきました。我々のグループでは、GPUを用いた解析コードの開発を進め、並列計算によって計算時間の短縮化を図っています。



習得可能なスキル

- ✓ フィールド(海域)での地震・地殻変動観測や構造調査
- ✓ 人工震源構造調査による地震波構造解析
- ✓ 地震波動場のシミュレーション
- ✓ 環境雑音を用いた地震波構造解析
- ✓ 地震活動解析
- ✓ 海底上下地殻変動解析

※上記解析は、その手法開発も含みます。



左図) 海底地震計でとらえた、膨大な数の2011年東北地方太平洋沖地震の余震活動。灰色のコンター図は本震のすべり量分布。色が濃い場所の海底下のプレート境界面で、多くの余震が発生していることが明らかとなった。(当研究室大学院生、仲谷君の研究)

詳しい説明は、

東京大学地震研究所 1-506
准教授 望月 公廣
kimi@eri.u-tokyo.ac.jp

写真) アメリカの調査観測船上にて、水深3000メートルの海底で1年間の観測後に回収された海底圧力計を運ぶ東北大学技術職員の鈴木秀市氏と私(左)。



地震波形解析による、火山内物理現象の解明

—火山で起きる地震からどんなことがわかるのか—

地震研究所 大湊研究室

火山周辺では様々な種類の地震が発生します。本研究室では、火山周辺での地震観測データの解析から、火山内部の物理現象の解明を目指します。

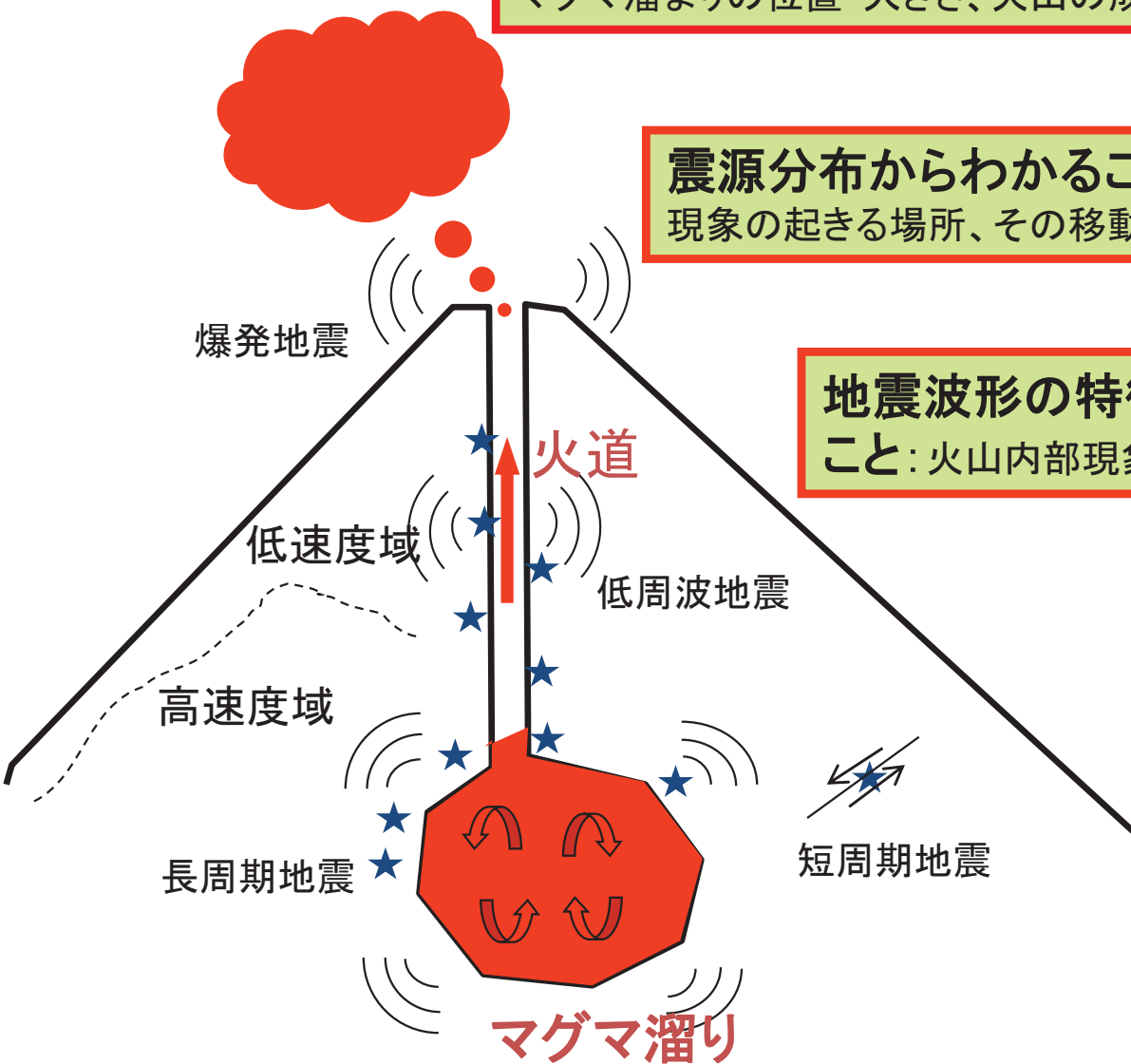
地震波の伝わり方からわかること:

火山の構造(火道の位置、
マグマ溜まりの位置・大きさ、火山の成長過程 など)

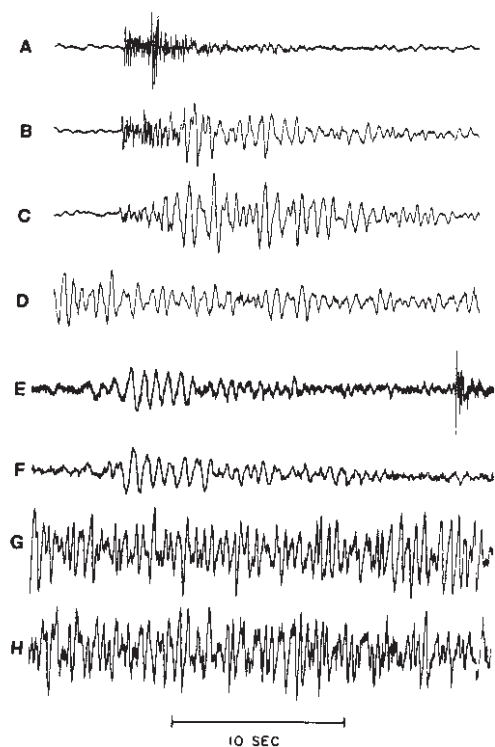
震源分布からわかること:

現象の起きる場所、その移動、応力状態

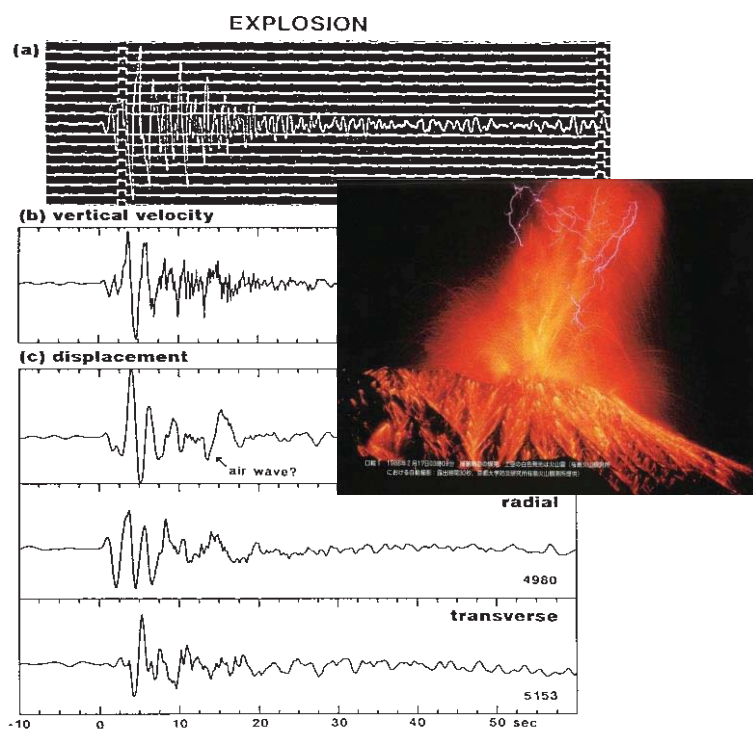
地震波形の特徴からわかること: 火山内部現象の物理



火山で観測されるさまざまな地震



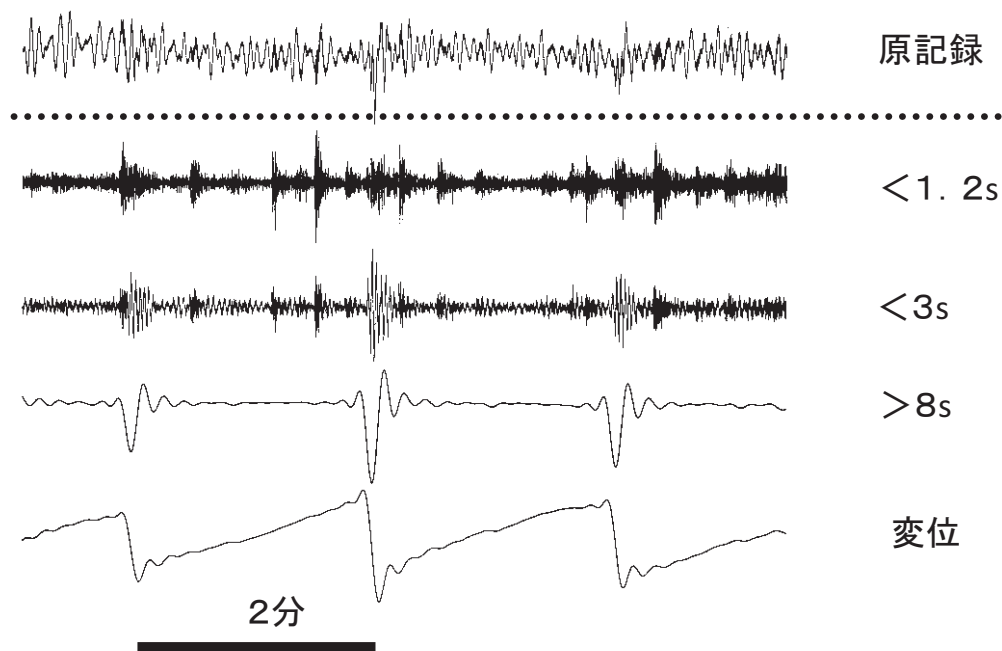
桜島の爆発噴火に伴う爆発地震の例



火山で観測される地震波は様々な情報を含んでいます。

右図は、異なる周波数成分毎に波形の様相が全く異なることを示しています。

これらの波形から火山内部の物理現象に関する情報を取り出すことが本研究室の目標です。



火山に興味があればどなたでもOK. 特に、火山に登ってみたい方、フィールドで観測器をいじることが好きな方、数値計算が好きな方を歓迎します。

連絡先 地震研究所 2号館512号室 大湊隆雄
Tel 03-5841-5810, e-mail takao@eri.u-tokyo.ac.jp

火山噴火のダイナミクスと空振の研究

市原美恵

火山噴火予知研究センター・准教授

Email: ichihara@eri.u-tokyo.ac.jp

URL: <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/ichihalab/>

1. はじめに

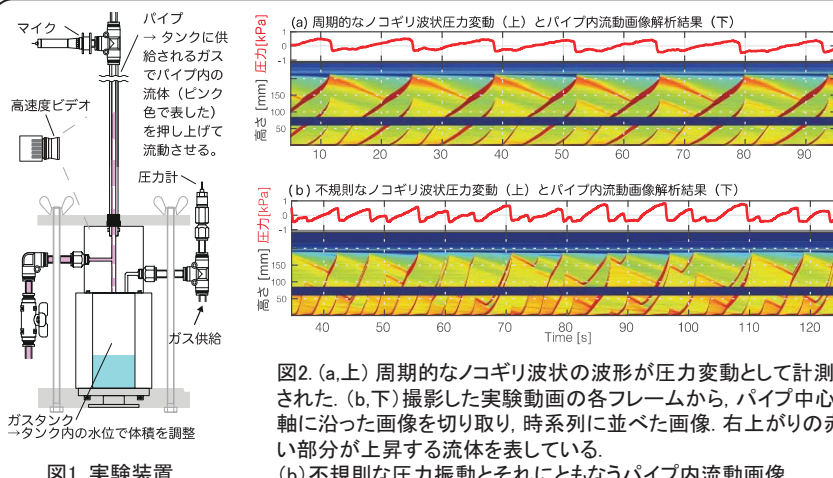
火山の噴火機構や、それに伴う波動現象について、研究をしています。火山噴火は、基本的には熱流体力学現象と捉えることができますが、マグマには流体と固体の間を遷移する性質があります。「固体の流動」は、マントル対流など固体地球科学の重要課題のひとつですが、火山では、「流体の破壊」が問題となります。その実体について、理論、実験をもとに研究を行って来ました。また、活動的な火山では、多様な振動現象が地震・地殻変動や空振(音波)として観測されます。私たちは、日常生活において、音に含まれる様々な情報を聞きとっていますが、火山の音に対するヒヤリング能力はまだ高くありません。フィールドで火山の音を観測しつつ、モデル実験を行い、火山の音の意味を理解しようと試みています。

2. 研究概要

2.1 火山の振動を理解するための実験・理論・データ解析

火山活動に伴う地震・地殻変動や空振には、流体の移動や気泡の運動が原因と考えられているものがあります。実験室で、そのような振動現象を作ってみますと、いろいろと驚く現象やからくりが発見されます。自然はもっと複雑なのかもしれません。或いは、複雑に見えて意外と単純なメカニズムが支配しているのかもしれない。室内実験から学びつつ、火山の観測データから新たな情報を得ようとしています。

火山噴火模擬実験と圧力変動の理解(菅野・博士研究)



活動的な火山では、膨張-収縮サイクルが、則地学・地震学的手法で観測され、しばしばノコギリ波状の波形を持つことが知られている。そこで、パイプとガスタンクからなる自作の単純な実験装置(図1)を用いた気液混相流実験において、火山活動にともなう周期的変動とよく似たノコギリ波状の圧力振動(図2)を作り出した。

この振動現象に対して、実験装置内の圧力・空振、パイプ内流動の撮影(図2)といった”多項目観測”を行った。これらの計測結果をもとに、圧力変化に対して数値モデルを構築し、本実験系におけるノコギリ波状圧力変動の発生メカニズムと発生条件を説明した。この実験システムは、既存の火山振動系モデルとよく似た数値構造を含んでいることがわかった。

また、実験のパラメータ設定においては、予測していなかった不規則な振る舞いが見られた(図2b)。こういった発見がモデル実験の醍醐味である。この複雑な振る舞いの物理を理解し、実際の火山観測データと照らし合わせることで、火山の挙動を支配する新たな物理機構が見つかることを期待している。

火山性微動発生源の理解(Natsume・修士論文)

火山で観測される面白い振動現象の一つに、調和型微動と呼ばれるものがある。等間隔にピークの並ぶパワースペクトルを持つ振動が、数分から数十分、又は、それ以上継続して発生する。今年の3月にも噴火の発生した霧島山新燃岳でも、2011年噴火時の溶岩の流出時に、調和型微動が地震計や空振計で捉えられた。そのデータを詳しく調べると、周期倍化現象が発生していることが分かった。これは、非線形振動系に見られる周期倍分岐である可能性があり、振動メカニズムを明らかにする重要な情報である。

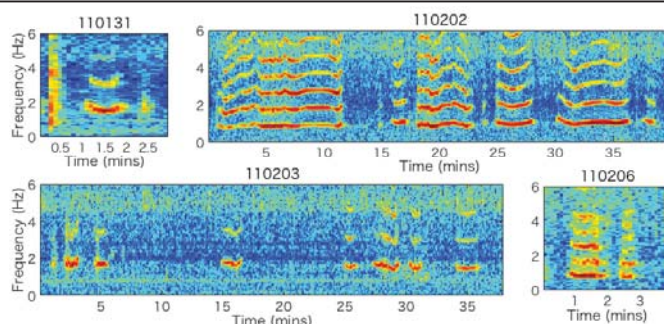


図1. 調和型微動(地震)のスペクトル変化。1月31日→2月2日、2月3日→2月6日にスペクトルピーク間隔が半分になる、周期倍化現象が見られた。

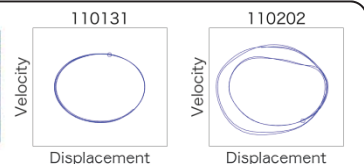


図2. 変位と速度を2変数とした位相図。

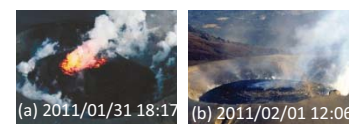


図3. 火口に蓄積した溶岩。(a)読売新聞社撮影。(b)アジア航測(株)撮影。

2.2 火山の空振観測と解析方法の開発

空振は、噴火やガス噴出など、火山の表面現象を捉えるのに有効な観測情報です。観測によって意味のあるシグナルを捉えるためには、工夫が必要です。様々なセンサーの比較試験や観測・解析方法の開発を行っています。浅間山・霧島山・西之島・ネバデルルイス(コロンビア)で定常観測を行う他、常時噴火活動を行っている桜島・ストロンボリ(イタリア)などで、実験的な観測も行います。

ストロンボリ火山における小規模空振アレイによる音源方向推定(山河・修士論文)

音の発生源は、音が火山由来かどうかを知る上で重要である。火山の音の場合、マイクを並べて時間差や位相差から音波の伝播方向を調べるアレイ観測が有効である。この研究では、マイク数、マイク設置間隔が小規模で高性能なアレイ観測を設計し、実施検証を行なった。この研究技術が火山の音の観測技術を発展させることを期待している。

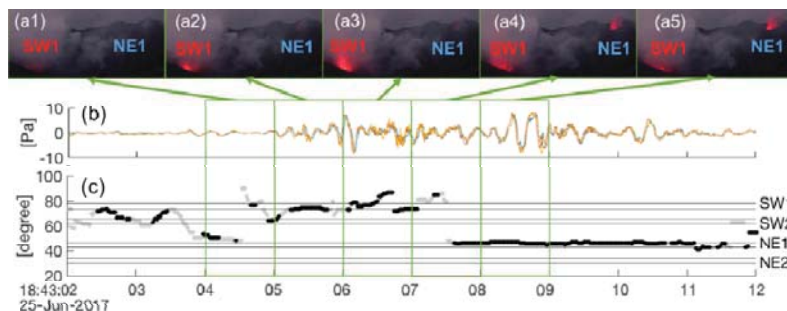
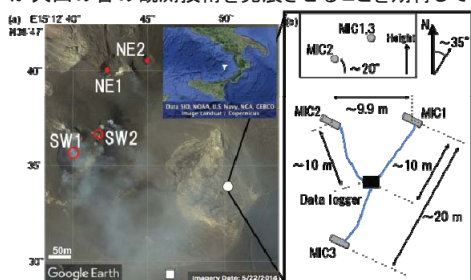


図2. (a)噴火映像, (b)音の波形, (c)推定方向, 横線は火口方向を表している。振幅の大きな空振が、18:43:05頃にSW1方向から、18:43:07過ぎにNE1方向から伝播して来たのが捉えられた。対応する火口の噴火が、映像でも確認された。

←図1. (a)ストロンボリ火山の火口群, (b)空振アレイの模式図。

2.3 爆発的噴火のメカニズムの研究

爆発的な噴火では、火道を通して上昇するマグマが、気泡の膨張によって加速し、どこかでガラスのように粉々に碎ける現象が起こっています。東京農工大学工学部の亀田研究室と協力し、理学と工学の両方の視点から、マグマの流動と破壊について考えています。また、火山噴出物に残された噴火ダイナミクスの情報を読み解くための、理論・実験・地質調査を組み合わせた研究も始めました。

軽石に含まれる気泡の変形過程 (大橋・博士研究+東京農工大学生)

カルデラ形成を伴う大規模噴火ではTube Pumiceと呼ばれる噴出物が見つかった。Tube Pumiceとは軽石の一種であり、一方向に伸びたチューブ状の気泡形状に特徴がある。私は、地質調査・室内実験・数値計算の3軸をベースにして、Tube Pumiceの形成過程を調べている。

地質調査

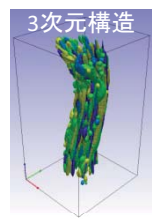
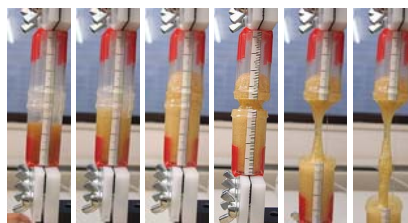
Taupo火山の調査
(New Zealand)



New ZealandにあるTaupo火山は、1800年前に爆発的な噴火を引き起こした。マグマ噴出量は35km³と見積もられており、世界で最も新しいカルデラ噴火として注目されている。Canterbury大学(New Zealand)の研究者と共同して野外調査を行い、X線CTスキャンによる軽石の3次元構造解析を進めている。

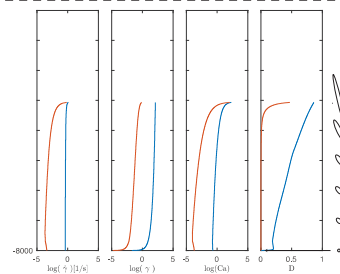
室内実験

ポリウレタンフォームの引張実験。引張によって、気泡がどの程度伸びるのか、実験的に検証した。東京農工大との共同研究である。



数値計算

一次元の火道流モデルと気泡変形モデルを組み合わせることで、噴火時の気泡変形をシミュレーションした。軽石の気泡形状には、噴火最終段階の歪みが記憶されていることが示唆された。



3. 現在の研究室

大学院生: 菅野洋(大学院D3)・大橋正俊(大学院D2)・山河和也(大学院D1)・Yuki Natsume(大学院D1)
インターンシップ学生(東京農工大・亀田研究室): 武田志緒里(同・M2)・弘田和也(同・B4)
外来研究員: 常松佳恵(山形大学・准教授)・黒川愛香(防災科学研究所・研究員)

火山地質学・火山岩石学研究室

前野 深（火山噴火予知研究センター・准教授）

地震研究所 2 号館 516 号室

fmaeno@eri.u-tokyo.ac.jp

TEL: 03-5841-4779

www.eri.u-tokyo.ac.jp/fmaeno



研究テーマ

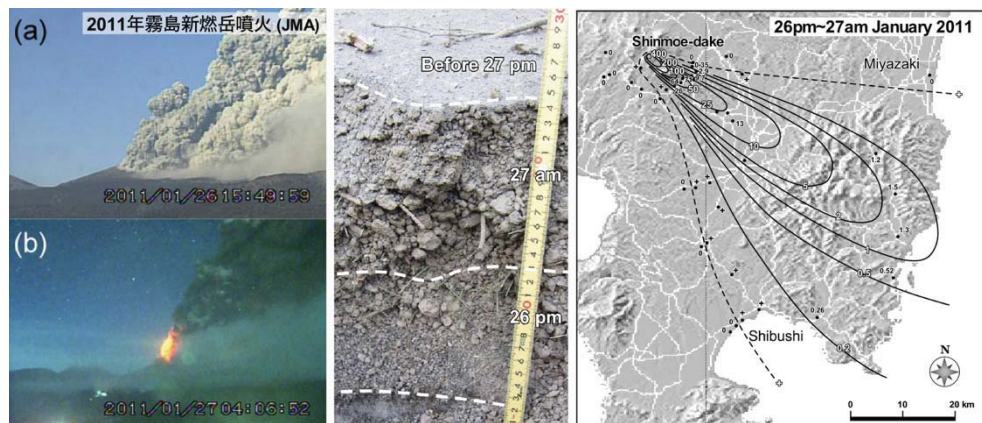
- 火山噴火に伴う地表面象（噴煙・火砕流・溶岩流/ドームなど）のダイナミクス（主に地質学的アプローチ）
- 噴火堆積物の形成プロセス・堆積物をもとにした噴火履歴解明
- 超巨大噴火の推移とインパクト
- 地質及び数値解析にもとづく火山性津波の発生・伝搬過程に関する研究

火山噴出物は、マグマが地下深部から上昇、地表へ噴出し、堆積物として残されるまでの様々な物理化学プロセスを記録しています。噴火堆積物の解析により得られる情報は、進行中の噴火の推移やダイナミクスを読み解く上で重要であるとともに、災害現象や将来の噴火について考える上での手掛かりにもなります。また、過去の噴火の履歴・推移の構築は、単に過去を知るというだけでなく、様々な表面現象を引き起こす火山システム全体の理解に貢献します。

当研究室では、火山の噴出物や堆積物から得られる地質・物質科学的情報（様々なスケールの構造や組織、形態、組成などの情報）をもとに、噴火に伴う諸現象（噴煙・火砕流・溶岩流・溶岩ドームなど）や堆積物の形成プロセス、噴火様式や推移の多様性、過去の噴火履歴や災害などを明らかにし、火山と噴火現象の理解を深めようとしています。噴火堆積物のフィールド調査に加えて、室内での物理化学分析、画像・数値解析などいくつかの手法を組み合わせることで研究を進めています。

活動的火山を研究対象としています。近年の国内外の火山噴火（霧島新燃岳、御嶽山、インドネシア・ケルット火山、西之島など）では、堆積物から得られたデータをもとに噴火様式や推移を明らかにし、噴火を特徴付ける物理パラメータ（マグマの噴出量や噴出率）を解明してきました。また他の観測量（地球物理学的観測データや衛星観測データなど）の活用も重視しています。小笠原諸島西之島の噴火では、上空からの観察や衛星データなどをもとに、溶岩流が浅海でどのように流れるかを明らかにし、新たな火山島の成長過程を追跡しました。

→ 霧島新燃岳
2011年噴火では、
準プリニー式噴火
により軽石や火山
灰が広範囲に堆積
しました。その噴
出量 ($\sim 3 \times 10^7 \text{ m}^3$)
や噴出率 ($\sim 1 \times 10^6$
 kg/s)、噴煙高度
($\sim 7 \text{ km}$) などの物
理量を推定し、他
の観測とも比較し
て噴火の推移を明
らかにしました。
(Maeno et al.
2014BV)



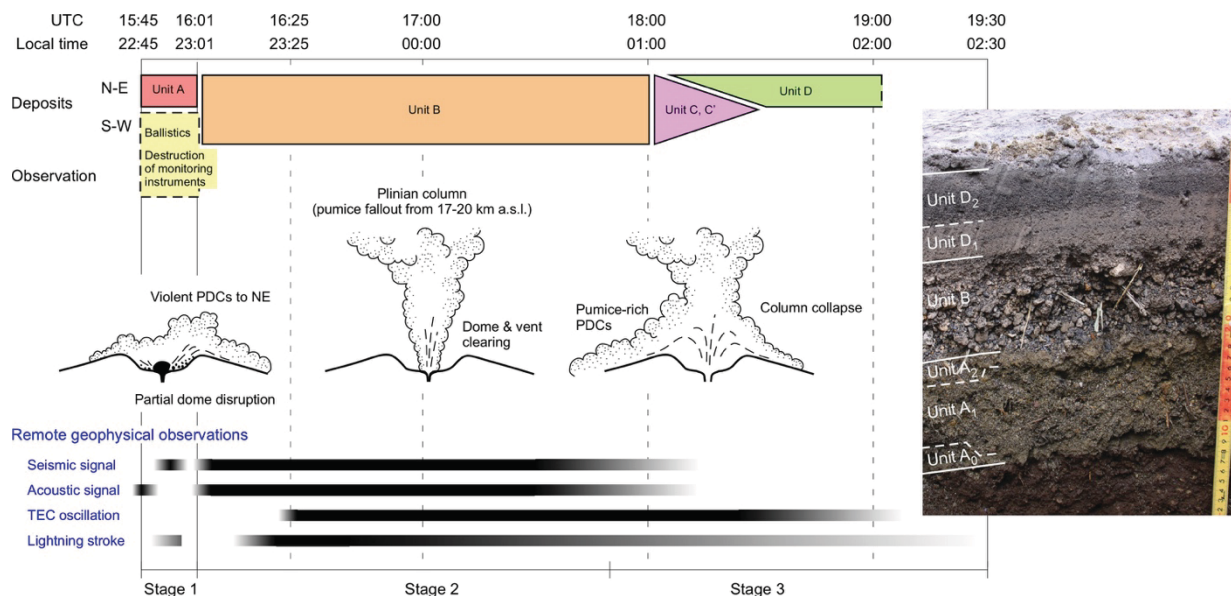
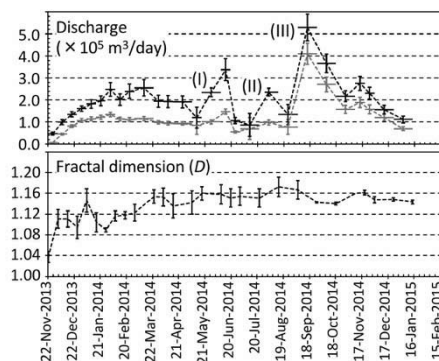
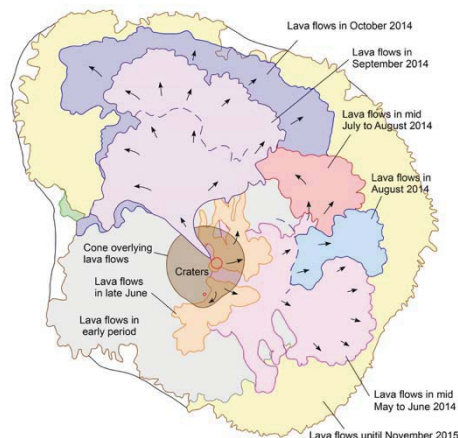
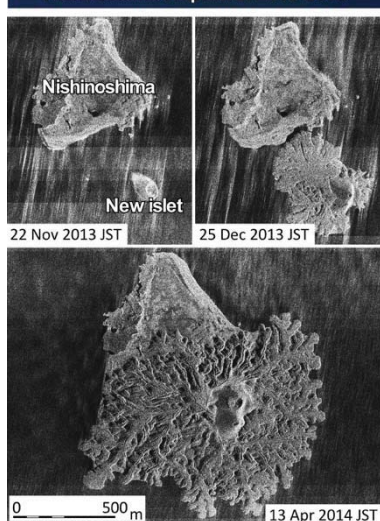
一方、新しい噴火だけでなく、現代の人間社会が経験したことのないような規模の噴火、(超) 巨大噴火も研究対象としており、噴火の推移や周囲への影響などの諸問題に取り組んでいます。7300年前に南九州で発生した鬼界アカホヤ噴火は、縄文文化や自然環境に甚大な影響を及ぼしたと考えられていますが、噴火の推移を含めて未解明の問題が残されており、周囲に残された噴火堆積物の解析が鍵となります。

研究室の体制:

- ・ 前野深 (教員)
- ・ 池永有弥 (修士 2 年)

研究テーマ「伊豆大島火山
安永噴火における層序の再構築と噴出物組成の時系列変化」

→ 小笠原諸島西之島の噴火 (2013-2015 年, 2017 年) では、溶岩が海を埋め立て、火山島を大きく成長させました。航空機からの観察、衛星画像を用いた解析などをもとに、溶岩の形態やマグマの噴出率が島の成長とともにどのように変化したのかを明らかにしました。溶岩流が分岐を繰り返し、島は樹枝状の形態となりましたが、このような特徴は、マグマ噴出率や噴出量、マグマ粘性、溶岩流と接する周囲の媒体の性質により決まると考えられます。(Maeno et al. 2016 Geology)



↑ 2014 年 2 月にインドネシア・ケルット火山で発生したプリニー式噴火 (噴煙高度 20 km 以上) では、前回の噴火で形成された溶岩ドームの破壊が先行して起こり、高速かつ希薄な火砕物密度流 (プラスト) が発生していたことが堆積物の調査からわかりました。地球物理学的観測でも先行する「何か」が捉えられていましたが、噴火堆積物にはその痕跡が明瞭に残されていませんでした。(Maeno et al. 2017 JVGR)

海半球観測研究センター 教授 塩原 肇

— 先端的海域固体地球観測 —

主たる連携教官 篠原雅尚教授・望月公廣准教授・一瀬建日助教

海域固体地球観測とは？

地球表面の2/3を占める海域は地球内部の状態や活動を知るために重要な場所ですが、厚い海水層が存在するため、海底での各種の観測には開拓の要素が現在でも数多く残っています。そのため、この分野での研究は、新たな知見を得ることを狙うために必須な先進的観測機器開発・実際の海域での大規模観測・解析手法の開発など、総合的な視点での一貫した研究を自ら行える、現在では稀少な分野です。

当研究室では、陸から遠く離れた海底で陸上の広帯域地震観測点と同等な観測を1年以上行える広帯域海底地震計を開発し、それを多数使った観測研究を進めています。更に、陸上で行っている観測を海底でも実現させるという考えの下で、世界中でも最も先進的な各種海底観測の実用的機器開発も行っています。

これらの観測・研究では、マントル構造といった地球深部の研究だけではなく、日本周辺で繰り返し発生する大地震の発生の方や詳細な事前・事後の過程を知ることも狙っています。そして、これまでの海底観測技術では見えなかった現象を地震発生の「その場」で調べることで、地震予知の基礎研究にも大きく寄与すると考えられます。

2010年以降、最新鋭の広帯域海底地震計を用いて、広大な大洋域での「普通のマントル」とは何かという、観測技術面の問題によりこれまで明確に出来なかった課題を解明する大規模観測研究を続けています。

その他に、Jamstecとの共同観測研究も密接に進めており、これまでに取得した海底長期観測データの解析及び、マントル上昇・下降流域を観測対象とした地球深部構造を探る研究も行っています。



写真1 通常型の広帯域海底地震計の外観。

写真2 設置前の次世代型広帯域海底地震計。オレンジ色の球形耐圧容器がデータ記録部、下にある3つの筒が繋がったものがセンサー部。

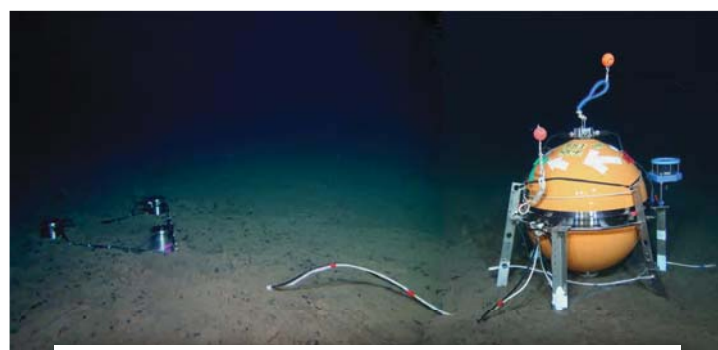


写真3 観測中の次世代型広帯域海底地震計（無人潜水艇「かいこう7000II」で撮影）。左下にあるのが、3成分を分離した広帯域センサーで海底面に潜っています。これにより、陸上観測点並の地震記録が初めて取れるようになりました。

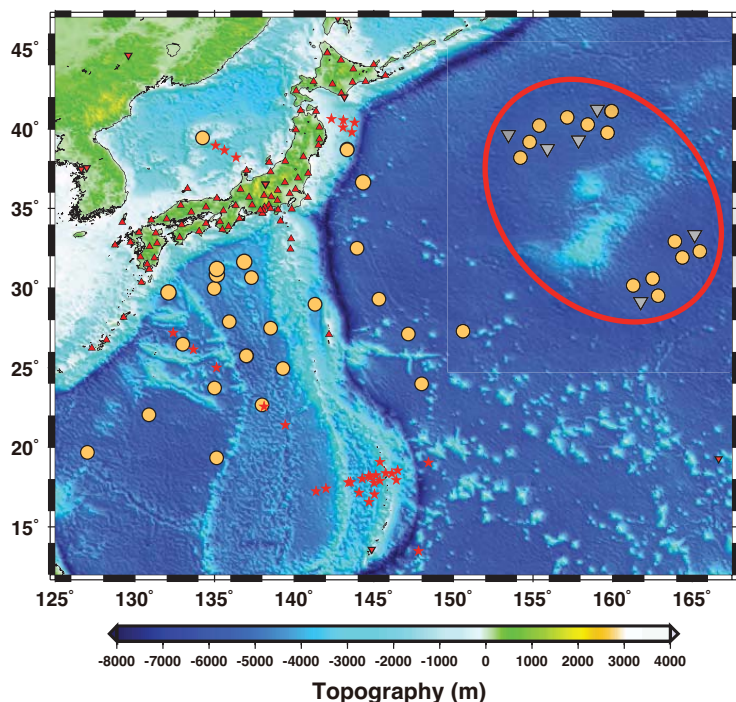


図1 1999年から現在迄に実施している、日本周辺での長期海底地震観測点の配置。

○は写真1の広帯域海底地震計を、▼は写真2,3の次世代型広帯域海底地震計、★は長期観測型海底地震計の観測点を示しています。楕円で示す場所では、「普通の海洋マントル」を精査する長期観測を2010年から5年間実施しました。陸上の広帯域地震観測点も▲で表示しています。

具体的な研究項目

長期観測可能な海底地震計によるアレイ観測

海底での長期間連続の地震観測は世界的にも事例が少ないものです。日本では長年に渡り短期間の海底地震観測を多数行っており、そこで蓄積した技術を基にした、1年間以上の連続観測を可能な自己浮上型海底地震計を開発しました。1997年に東太平洋海膨での試験観測で能力を実証して以降、長期海底地震アレイ観測をフィリピン海・三陸沖・マリアナ・日本海などで実施しています(図1)。また、次項に記す広帯域海底地震計を用いて、日仏共同の長期地震観測を仏領ポリネシア地域で2002年1月に開始し、世界でも初の長期広帯域アレイ観測データを取得しました。この観測研究により初めて、コア・マントル境界から地表まで上昇しているように見えていた巨大なプルームが上部マントルでは細くなっていることを見いだしました(図2)。これらの観測実績の基に、2005年から3年間にわたり、特定領域研究「スタグナントスラブ」による大規模観測をフィリピン海・太平洋プレート上で実施し、研究成果を挙げています。

世界最先端技術での広帯域海底地震計の開発

地球深部内部構造の研究に必要な地震動を記録するには、数秒以上の長い周期の信号を捉えられる広帯域地震計を使う必要があります。上記の長期観測の実績を基に高性能センサーを組み込んだ自己浮上型広帯域海底地震計(写真1)を開発し、観測研究を実施しています。これまでの100回以上の観測実績から、深海底でも広帯域地震観測が出来ることを世界に先駆けて実証してきました。一方で、現在の観測機器の問題点も見えてきたため、陸上観測点に遜色ないデータを得られる次世代の観測機器を開発し、大幅な性能向上を実現しています(写真2,3)。これを使い、北西太平洋で「普通の海洋マントル」を解明する観測(特別推進研究)を2010年から行いました。この研究では、(a)プレートテクトニクスの鍵となるリソスフェアとアセノスフェア境界の物理的状態の解明、(b)地球に存在する水の殆どが広大な大洋域のマントル遷移層内に取り込まれているか、という現代の地球科学上で重要なテーマを明らかにすることを狙っています。このような観測研究が実施可能となったのは、新しい観測機器を開発し、実用的観測への供用が出来たからなのです。現在は、この高性能な機器(写真2,3)を潜水艇を使わずに運用できる方式へ進化させたもの(図3)を開発し、長期試験中です。この他にも、広大な大洋域で地震観測網を展開する計画も国際的に進めています。

海底での地殻変動観測機器の実用的開発

地球表面での固体地球物理学的現象を理解する上で、地震計で捉えられる範囲を超えたより長周期の変動を検出することは重要です。しかし、海域でこの分野はこれまで殆ど進展がありませんでした。そこで現在、上記の広帯域海底地震計と高精度な水圧計を組み合わせ、地震波から地殻変動の帯域までをカバーする新しい観測機器を独自に開発し、2009年から実地観測を国内外で進めています。また、次世代型広帯域海底地震計(写真2,3)を応用した海底面での傾斜変動観測の実用化にも取り組んでおり、房総半島沖でのスロースリップイベントをその直上で捉えることにも、2014年1月に成功しました(図4)。宮城県沖日本海溝付近でも、2015年から2017年の長期観測で興味深い変動記録を取得でき、解析を進めています。

超深海底での地震観測機器の開発

ここ何十年間、構造上の問題から海底地震計を水深6000mより深い海底に設置することは出来ていませんでした。その限界を突破する為、長いこと使われてきた構造を一新した、水深10000mの超深海域でも運用可能な海底地震計の開発に、センサーの開発から取り組んでいます。

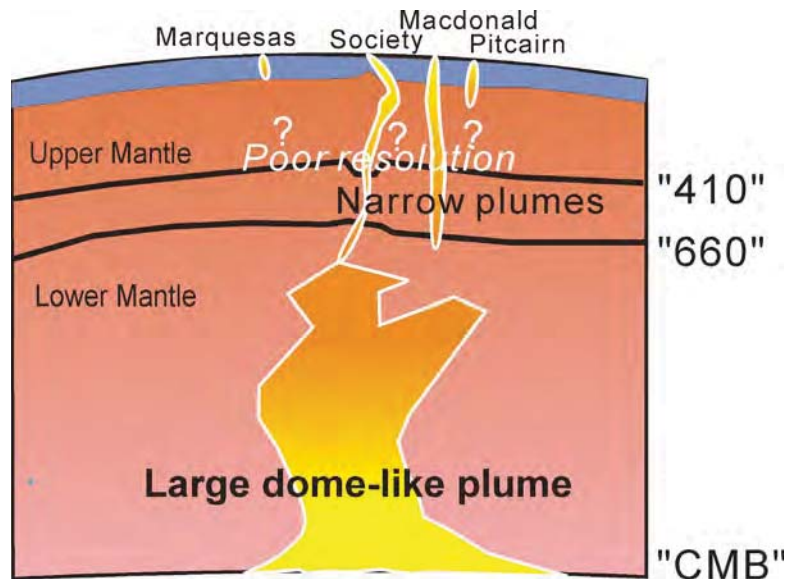


図2 フレンチポリネシアでの日仏共同の海陸長期広帯域地震観測から初めて見いだされた、大規模マントル上昇流のイメージ。陸上のグローバル観測網での研究結果から、この地域に存在が示唆されていた大規模マントル上昇流(プルーム)でしたが、海域に観測点が無かったため詳細なイメージは不明なままでした。2002年から、フランス側は陸上臨時観測点を、地震研究所とJamstecによる海底地震観測を2005年6月まで継続してデータを取得しました。その最新の解析結果から、今までの陸上だけの観測からは分からなかった、このようなマントル上昇流の詳細な様子が見えてきました。2009年から1年半、タヒチ島周辺でより詳細な観測を実施し、現在その解析中。

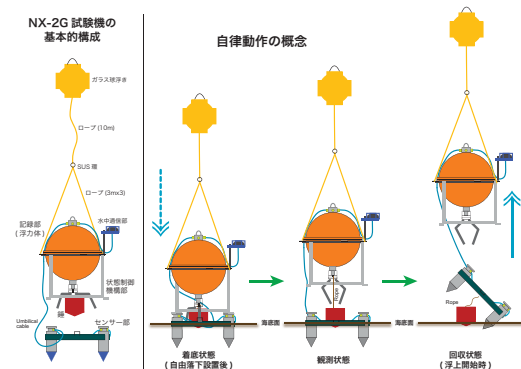


図3 写真3の次世代型広帯域海底地震計を、自律動作させる仕組みを開発し、現在長期試験観測を実施中。

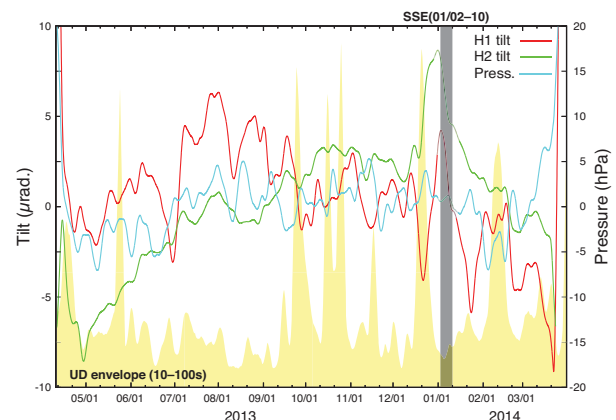


図4 写真3の次世代型広帯域海底地震計を応用し、海底面で安定した傾斜変動観測を可能としました。房総半島沖にて試験的に1年設置した際、ほぼ直下でスロースリップイベントが発生(灰色の区間)、それに伴うと思われる傾斜変動を記録しています。

連絡先

内線: 28287 居室: 1号館709号室
メール: shio@eri.u-tokyo.ac.jp

グローバル地震学研究グループ（海へのアプローチ）

川勝均・竹内希・一瀬建日・竹尾明子（海半球）

「グローバル地震学」という言葉にはそれほど深い意味もなく、どのような問題にも「グローバルな視点を持って」というような象徴的な意味と思ってください。空間的スケールが小さな問題を扱っていても「グローバル」であり得るし、もちろん地球全体の問題も研究対象です。ここでは海半球観測研究センターで進めている深海底観測からの研究を紹介します。

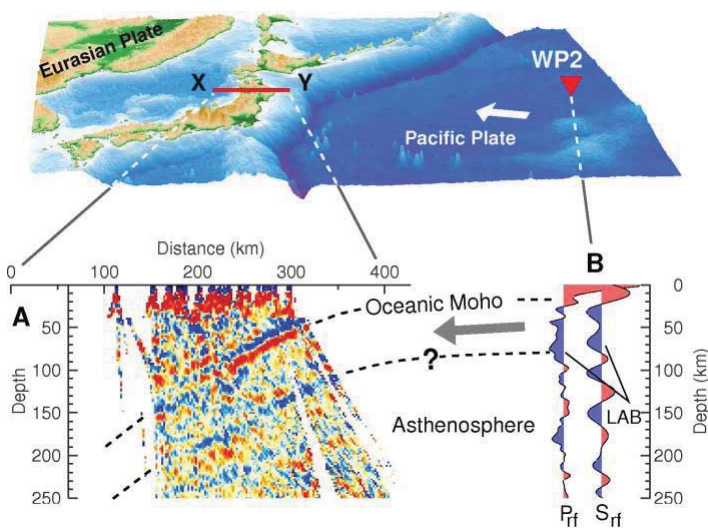
プレートテクトニクスの謎にせまる



プレートテクトニクスによれば、太平洋の海の下には広大な一枚の板（プレート）があり、1年に10cmほどの速さでするすると水平に動いています。差し渡し数千キロメートルにもおよぶプレートが一体となって動くとい

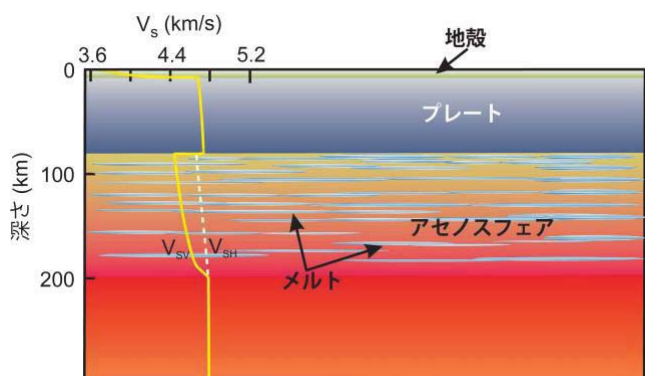
うのは、考えてみると不思議なことです。そのためにはプレートの下が滑りやすくなっている仕掛けがあるはずです。プレートに底はあるのでしょうか？ またその下のアセノスフェアとは何でしょう？

右図は日本列島下の沈み込みの構造解析と、北西太平洋下の構造解析から、プレートの底に対応する構造（？と点線で示されている）がある可能性を示した研究成果です。本当にそのような構造が存在するのか、詳細を調べるには深海底に広帯域海底地震計(BBOBS, Broadband Ocean Bottom Seismometer)を設置し観測を行う必要があります。海半球観測研究センターでは、そのための技術開発を進めると共に、大規模な観測研究プロジェクトを推進しています。



プレートの下のミルフィーユ？

私たちはプレートの下のアセノスフェアには、岩石がすこし溶け滑りやすくなった薄い層がたくさん重なっており、これによりプレートが水平に動きやすくなっていると考えました。フランスのお菓子ミルフィーユと似たような構造なので、ミルフィーユ・アセノスフェアと呼んでいます。本当にこんなことあるのでしょうか？



「ふつう」の海洋マンツルの探求

目的解明のためには場所も手段も選びません。最適の場所で最善を尽くすそのような研究を「フロンティア観測」研究と我々は呼びますが、ここでの主役は広帯域海底地震計（右図）です。最新の海底地震計を、沈み込み帯でもない、海嶺でもホットスポットでもない「ふつう」の海洋底に展開します。それは、そこにプレートテクトニクスの謎を解き明かすための普遍的な構造があると期待するからです。観測は終了し、現在データ解析のとりまとめが進められています。

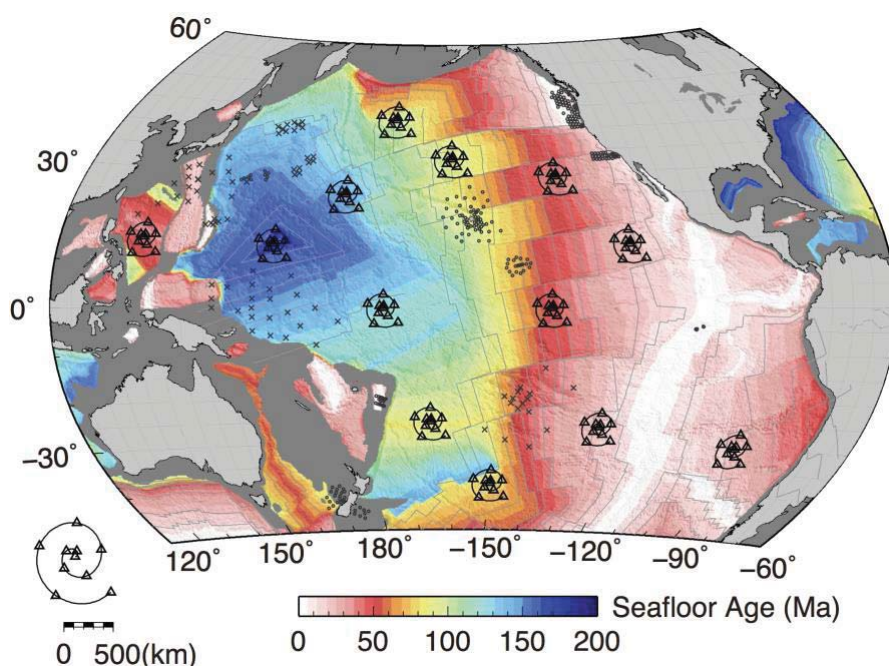


太平洋アレイ (Pacific Array)

グローバル地震学の長年の夢は、地震観測点のない海洋底に観測網を作ることです。「ふつうの海洋マンツル」研究の達成のひとつに、海洋地殻からアセノスフェアの深さまでの構造解析を可能にする「広帯域構造分散探査」手法の確立があります。この技術革新により、1-2年程度の観測により、一単位アレイ観測網の直下の一次元地震波速度構造（異方性も含む）が推定できるようになりました。

太平洋アレイ (Pacific Array, 下図) とは、十数台の海底広帯域地震計をアレイ単位とした、海底地震計アレイによるアレイ観測計画の仮称です。上記の技術革新により、アレイによるアレイ

観測を行うことで、広大な太平洋を効果的にカバーする観測計画の可能性が浮び上がってきました。太平洋下のマンツル構造を実証的に解明し、1.8億年の太平洋下マンツルのダイナミクス・発達史の解明を目指す研究の可能性が見えてきたことを意味します。国際協力の下、グローバル地震学の夢の達成に向けて一緒に研究をしましょう！



★太平洋アレイ <http://eri-ndc.eri.u-tokyo.ac.jp/PacificArray/>

地球内部電磁気学・グローバル地球電磁気学・海底電磁気学

@海半球観測研究センター

教員 清水久芳（准教授）、馬場聖至（助教）
研究員 南拓人（JSPS）、多田訓子（JAMSTEC）、松野哲男（神戸大学）
大学院生 Li Ruibai（D2）

私たちが行っている研究は、電磁気的手法によって、様々なスケールの地球内部構造（電気伝導度構造）や活動を解明しようというものです。基本的な研究スタイルは、「観測地球科学」です。目的に応じて違ったさまざまな観測を行います。観測のためには、必要に応じて海に行くことも山に行くことも、離島や海外に出かけることもあります。観測システムの開発や解析手法の開発なども並行して行っています。コアのダイナミクスに関する理論的研究も行いますが、あくまでも観測データの解釈を念頭においています。

研究テーマ

□ 海洋リソスフェア・アセノスフェアとマントル対流

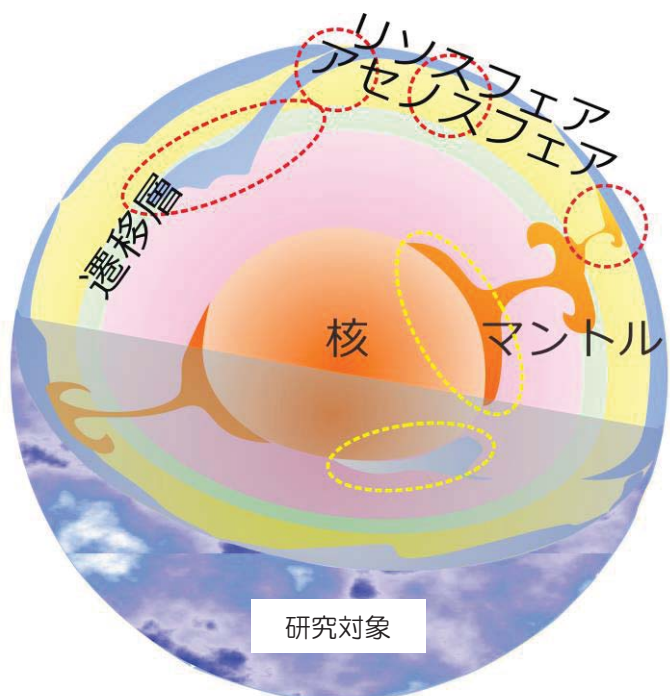
固いリソスフェアが柔らかいアセノスフェアの上を滑って移動するという、プレートテクトニクス理論によって、地球上の地学現象の多くが説明されます。しかし、そもそもなぜリソスフェアがアセノスフェアの上を動くことができるのか、その実態は実ははっきり分かっていません。私たちは、リソスフェア・アセノスフェアの物理的・化学的状态およびマントル対流（プレート運動）に伴う時間的発達を、電気伝導度構造を通じて推定しようとしています。リソスフェアが水平移動する場所だけでなく、マントル深部からの上昇流や下降流の場所も対象です。私たちは、地震観測グループとも共同し、お互いのデータを総合的に解釈することで、この問題をより深く理解することにもチャレンジしています。

□ マントル遷移層と水

水は大気中や地球表層にのみ存在するものではありません。マントル遷移層は、鉱物結晶中に不純物として含む形で、海に匹敵するほどの水を蓄えている可能性があります。地球内部と表層の間の水の収支は、プレートテクトニクスの始動と発達にも深く関与していると考えられています。では一体どの地域のマントル遷移層にどれだけの水があるのでしょうか？ マントルを構成する岩石の電気伝導度は、その中に含んでいる水の量に大きく左右されます。私たちは、マントル遷移層の電気伝導度構造を明らかにして、それをもとに水分分布を推定するための観測、データ解析・解析手法の開発に取り組んでいます。

□ マントル深部とコア・マントルシステムのダイナミクス

マントルダイナミクスを理解するためには、より深部の情報も必要です。マントル最下部が非常に複雑な構造をもつことは知られていますが、電磁気学的な構造は未だによくわかっていません。この電磁気学的構造を長期間に渡る地磁気と地球電場変動の観測から解明し、また、コア・マントルの結合したシステムとして捉えることにより、マントルとコア・マントルシステムのダイナミクスのさらなる理解を目指しています。



観測手法とこれまでの主な研究フィールド

□ 磁場・電位差の定点観測

より深部の構造探査や長期の地磁気変動に関する研究には、グローバル・スケールでの長期的な観測が必要です。私たちのグループの「売り」の一つは、海底ケーブルによる地球スケールの電位差観測です。この観測では、国際通信業務から引退になった海底ケーブルを、何千 km も離れた地点間の電位差変動を測定するのに用います。アメリカやロシアの研究者と協力して西太平洋にケーブル観測網を構築しました。磁場は、世界各地にある地磁気観測所のデータが公開されています。しかし、太平洋地域には地磁気観測所がとても少ないので、私たちが自前でいくつかの定点観測網を展開して、海洋研究開発機構（JAMSTEC）と共同して維持しています。

□ 磁場・電位差の機動観測

主に海洋上部マントルを対象としたリージョナル・スケールの構造探査には、海底電位磁力計（OBEM）と呼ばれる観測機材を、対象とする海域に数ヶ月から数年間、機動的に展開して、観測を行います。国内・海外の研究船を用いて、世界中の様々な海域で観測を実施しています。OBEM では、四方に伸びたパイプのたかだか 5m の距離で電位差変動を高精度に計測します。近年新たに開発した地球電場観測システム（EFOS）では、研究船と潜水艇を用いて、2km～10km 長のケーブルを展張し、OBEM よりも更に高精度な電位差計測を行うことができます。EFOS を用いることで、海底ケーブルを用いた観測と OBEM を用いた観測の間をつなぐスケールの研究が可能になりました。

磁場観測点のメンテナンス作業



OBEM の設置作業



EFOS の設置作業



○ 機動観測海域
— 海底ケーブル
★ 地磁気固定観測点



研究船白鳳丸（JAMSTEC）

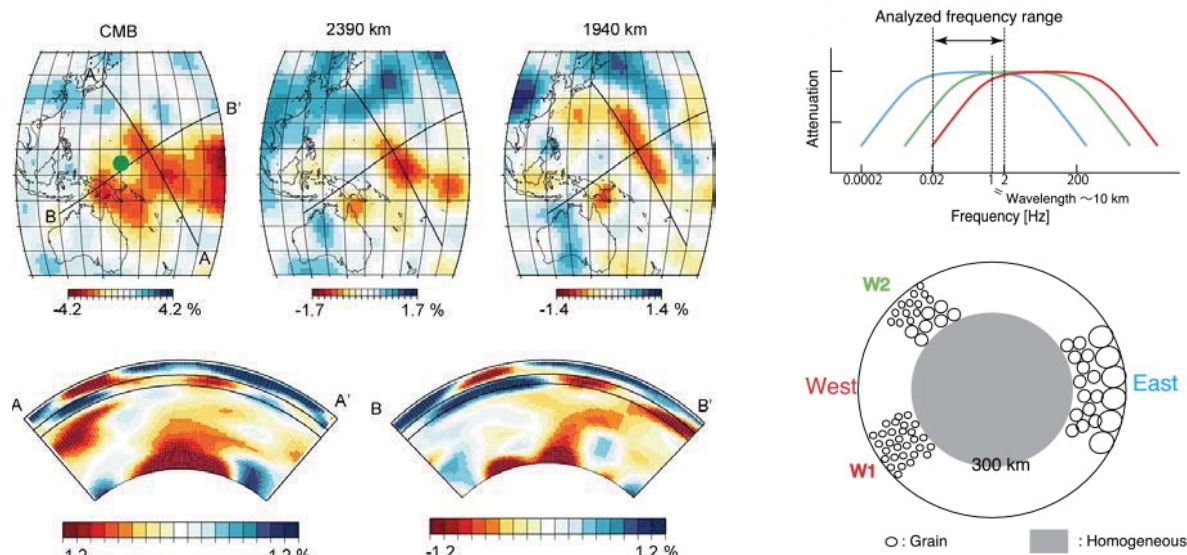
グローバル構造探査グループ 竹内 希, 川勝 均 海半球観測研究センター



地球の中はどうなっていて、どう動いているのでしょうか？ 直接手の届かない領域であるため、わからないことだらけですが、人類の英知と想像力を駆使することにより、息吹を感じることは確実にできます。私たちは主に地震波形データの解析から、地球との対話を試んでいます。

以下に、地球を知るために行っている我々の努力の一端を具体的に紹介いたします。

耳をそばだてる：波形インバージョン技術の開発と活用

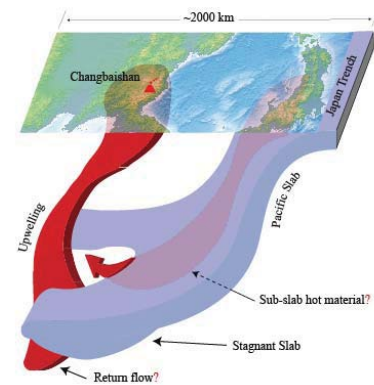
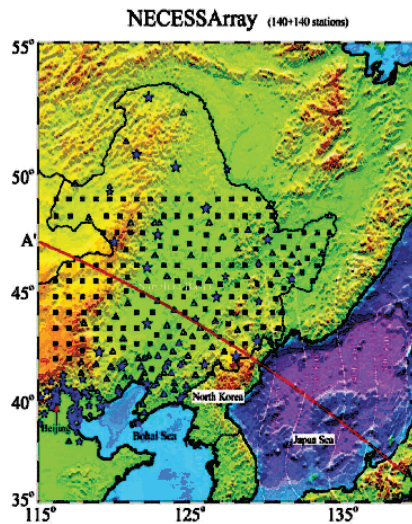


地震波形データには地球内部構造の情報がたくさん含まれています。これをもれなく活用するには、理論地震波形と波形データを直接比較するのが有効です。このような推定手法を波形インバージョンと呼んでいます。波形インバージョンにより、観測点が乏しい太平洋の下での速度構造を推定してマントル対流の上昇流を検出したり(左図)、内核の減衰構造を周波数毎に求めて粒径分布を示唆したり(右図)しました。微弱シグナルを丁寧に解釈すれば、地球は様々な姿を見せてくれます。

こちらから語りかける：フロンティア観測による地球科学の推進

国内外を問わず、科学問題にとって最適なフィールドに立つて行う観測を、我々は「フロンティア地震観測」と呼んでいます。

既存のプレートテクトニクスでは、スラブが沈み込みを始めた地域(例えば東北地方)に火山が生成されることを期待します。しかしこのスラブが沈み込んだはるか先にある、中国東北部にも活動的な火山(長白山)があります。この火山の近傍を良く調べれば、既存の枠組みでは見落とされていた、火山生成のしくみにせまれるはずです。



長白山の下の構造及び流れ場を示す概念図。
スラブの欠損域から長白山に至る上昇流が
存在することを見出した。

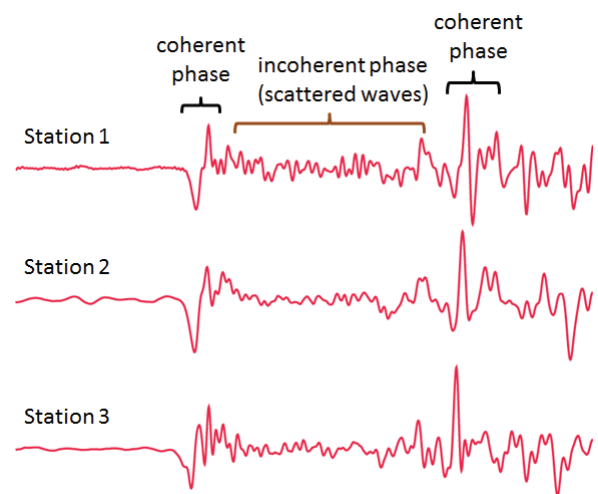
我々は中国東北部で稠密観測を行い（左図）、この不思議な火山の下の遷移層でスラブが欠損していること、スラブ欠損域から火山に至る低速度異常域が存在することを描き出しました。そして深部マントルからの上昇流が火山生成に寄与していることを提唱しました（右図）。

新たなコミュニケーションツールを作る：散乱波解析技術の開発

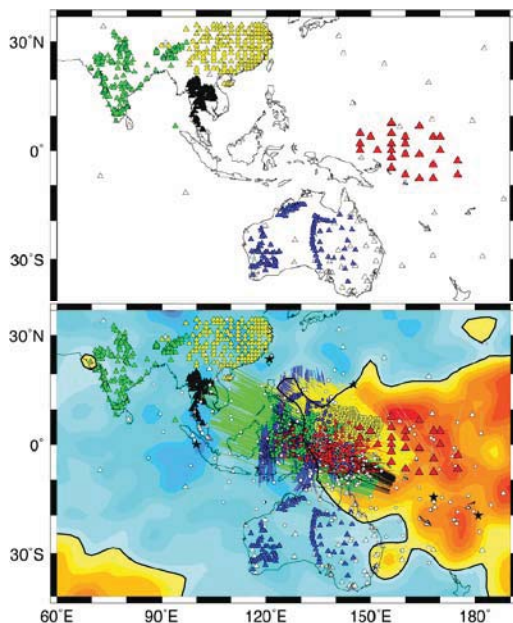
地震波形にはP波やS波など異なる観測点間で似たような波形が観測されるフェーズ (coherent phase 又は直達波と呼んでいます) と、全く異なる波形が観測されるフェーズ (incoherent phase 又は散乱波) の両方が含まれています。通常の地震波形データ解析では、直達波のみに着目し、散乱波は一種のノイズとして扱ってきました。

しかし散乱波は、P波やS波などが地球の中の不均質によってかき乱されて生ずる地震波です。つまり地球の中の不均質に関する情報を多分に含んでいるのであり、ノイズだと思うのはナンセンスです。

私たちは、散乱波というこれまでとは違った情報源を用い、地球の姿を描き出そうとしています。解析は現在進行中ですが、下部マントルはびっくりするぐらい不均質がありそうだとか、特定の周波数ではほとんど減衰がなさそうであるとか、驚くような結果が出はじめています。



今後の展開：新たなフロンティアデータ



新たなフロンティア観測として、太平洋下の上昇流域を精査するプロジェクトが進行中です。自前でタイの観測網を設置する（右図）とともに、外国の諸機関と共同研究を実施することにより、上昇流域境界の微

細構造にせまります（左図）。

また海半球観測研究センターでは高性能広帯域海底地震計開発を進めながら、太平洋域に観測網を展開する研究を精力的に行っています。

地震研究所にはアイデアある者に対する極めて恵まれた活力源があることは間違いありません。



断層破壊の力学と地震のモデル化

地震研究所

加藤尚之

(nkato@eri.u-tokyo.ac.jp)

地震は断層の破壊現象ですから、岩石破壊の物理過程を解明しモデル化すれば、地震の発生過程のモデル化に利用できます。私は、岩石の破壊や摩擦の理解に基づいて地震発生モデルを構築し、地震発生物理を解明するための研究を行っています。

断層は通常は摩擦により固着していますが、プレート相対運動などにより断層をずらす力がはたらき摩擦に打ち勝つと、断層が破壊して地震が発生します。このことから、地震の発生過程を理解するためには、岩石の摩擦が重要であることがわかります。岩石の摩擦実験などに基づいて摩擦構成則と呼ばれる摩擦をすべり速度などの関数で表す式が提案されています。摩擦構成則を利用すれば地震発生の数値シミュレーションを行うことができます。シミュレーションでは、地震の発生だけでなく、地震が発生するまでの応力集中過程や、地震が発生した後の断層の強度回復過程など、地震が発生するサイクル全体をモデル化することができます。

図1は沈み込み域のプレート境界における大地震のモデルの模式図です。プレート境界には摩擦力がはたらいていますが、温度などの影響で深さによって摩擦の性質が異なり、浅いところではプレート境界が固着し、深いところではプレート境界はゆっくりとすべっています。このようなすべり様式の違いは摩擦構成則のパラメタの違いで表現することができます。プレート境界でのすべり方の違いの結果、固着している領域とすべっている領域の境界では応力集中が生じます。応力集中が大きくなると、固着していたプレート境界の浅部が破壊して地震が発生します。破壊がいつ発生するかを決めるのは、破壊が進展したときに解放される歪エネルギー（エネルギー解放率）と断層の強さを表す破壊エネルギー（単位面積の破壊面を作るのに必要なエネルギー）という量の関係です。プレート境界の深部はいつもすべっていますから応力集中は徐々に大きくなり、エネルギー解放率は時間とともに増大します。図1のようなモデルを利用した数値シミュレーションと観測データを比較することにより、実際のプレート境界における破壊エネルギーを推定することができます^{2,3)}。応力集中の大きさはプレート境界深部の非地震性すべり量とともに大きくなりますから、エネルギー解放率はプレートの相対運動速度 (V_{pl}) と大地震の繰り返し間隔 (T_r) に依存し、地震発生時のエネルギー解放率と破壊エネルギー (G_c) はバランスしているためです (図2)。この方法で推定した大地震の破壊開始点の破壊エネルギーは、地震の規模に依存して大きくなる傾向が得られました。また、破壊開始点の破壊エネルギーは、断層全体の平均的な破壊エネルギーよりも小さくなる傾向があります。このような結果を利用して、地震の動的破壊の発生や伝播の物理過程の理解を深めたいと考えています。

文献

1. Kato, N., 2012, J. Geophys. Res., 117, B01301, doi:10.1029/2011JB008359.
2. Kato, N., 2012, Earth Planet. Sci. Lett., 353-354, 190-197, doi:10.1016/j.epsl.2012.08.015.
3. Xie, Y. and N. Kato, 2017, J. Asian Earth Sci., 134, 55-62, doi:10.1016/j.jseaes.2016.10.013.

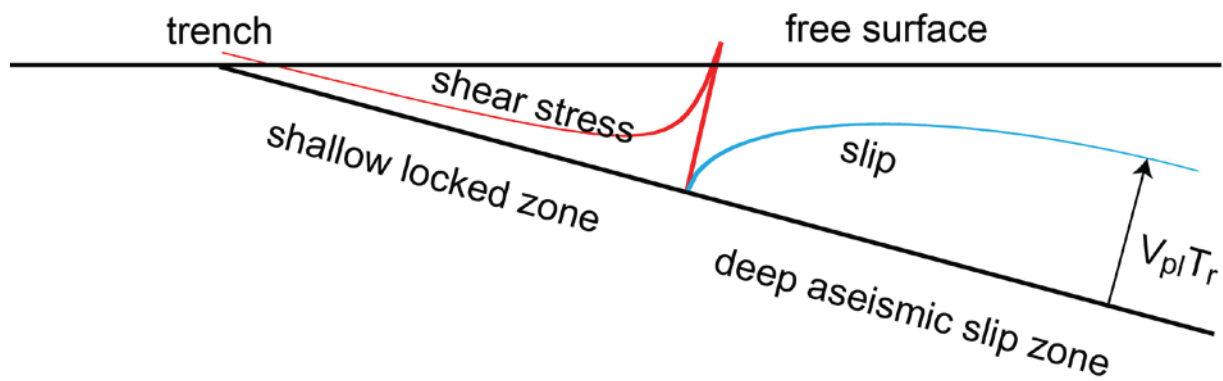


図1．沈み込み域のプレート境界における，地震発生前の，すべり（青）とせん断応力（赤）の分布の模式図．深部では定常的な非地震性すべりが発生し，浅部では固着しているため，両者の境界域では応力集中が生じている．

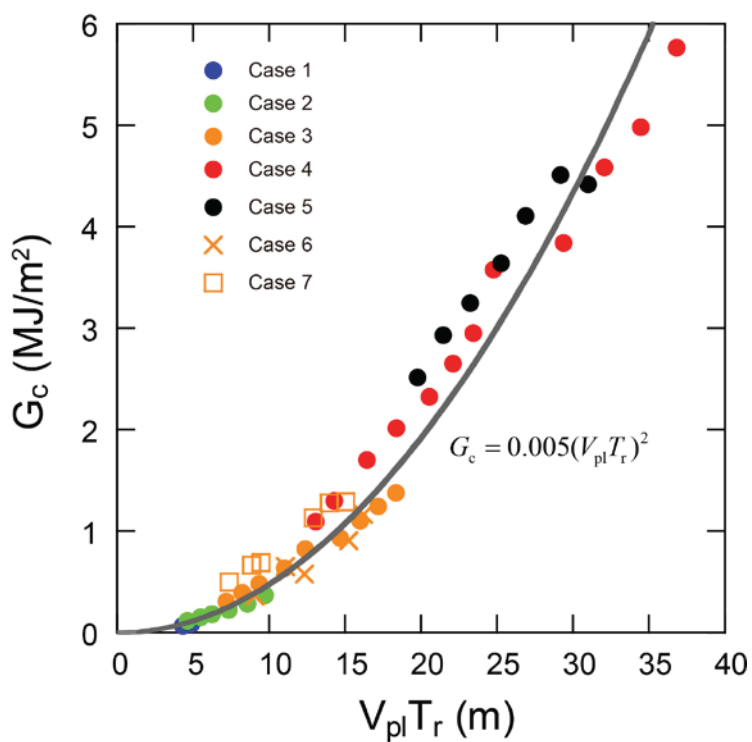


図2．シミュレーションで得られた，地震発生直前のプレート境界深部における非地震性すべり量 ($V_{pl}T_r$) と破壊開始点における破壊エネルギー G_c の関係． V_{pl} はプレートの相対運動速度， T_r は大地震の発生間隔．

地震発生場の謎に迫る

地震火山噴火予知研究推進センター 飯高隆

iidaka@eri.u-tokyo.ac.jp

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/iidaka/HP/>

【研究テーマ】

この研究室では、フィールドにおいて地震の観測を行い、新たなデータをもとに、日本列島の島弧内部の変形過程の解明や内陸地震、海溝型地震の発生メカニズムの理解を目指した研究をおこなっています。

【自然地震観測や構造探査で見る地殻構造】

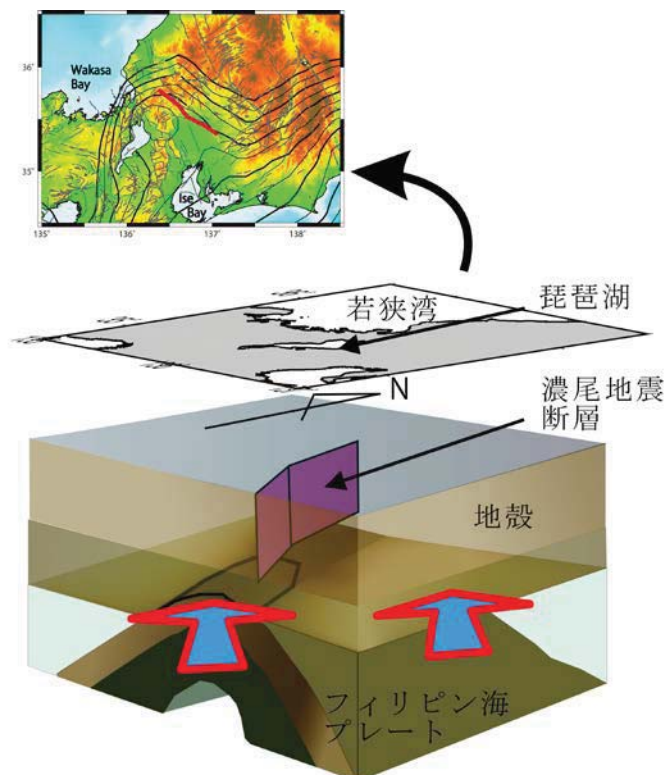
自然地震観測や人工地震探査とそのデータの解析を通じて、日本列島の地殻構造を描き出しています。特に、断層が存在する地域の地殻構造を詳細に描き出すことによって、内陸地震の発生場を明らかにしていきたいと考えています。

1891年に発生した濃尾地震(M8)は、日本の活断層で発生した内陸地震としては、観測史上最大規模の地震といえます。この地域で地震観測を行うことによって、その原因を探ってきました。

沈み込むフィリピン海プレートは変形しており、伊勢湾から若狭湾にかけて尾根のように張り出した構造をしています。この張り出したフィリピン海プレートは、周囲の地殻と接触しており、濃尾地震を引き起こした断層は、その接触部分に沿って存在していることがわかりました。

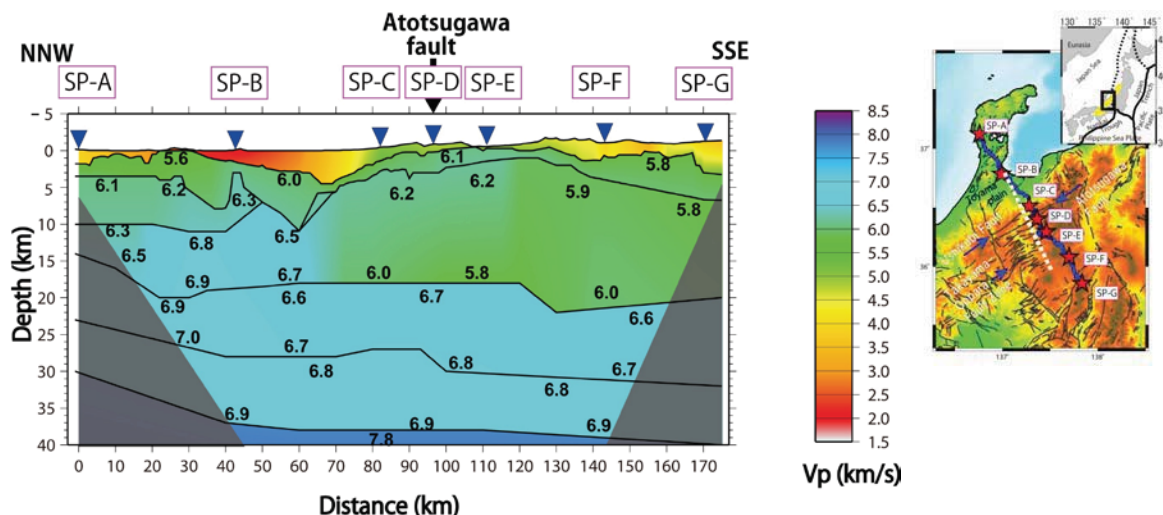
地殻とフィリピン海プレートの接触部分では、応力が集中します。このような特異な構造が、M8という大きな地震を引き起こした可能性を示唆することができました。

右図：濃尾地震発生域の地殻・マントル構造の概念図



【断層を描き出す】

自然地震解析，人工地震解析等さまざまな地震学的手法を用いて，断層の描像をおこない，内陸地震発生メカニズムの解明を行っています。

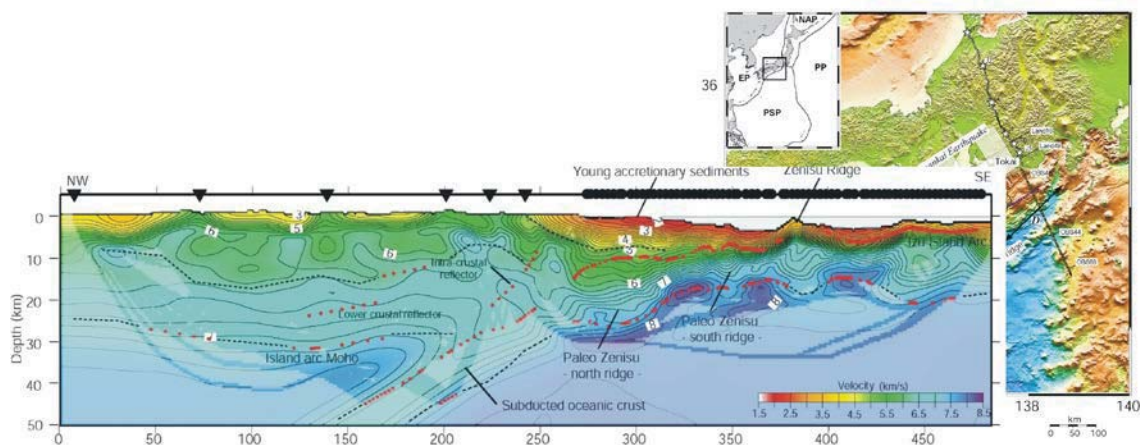


構造探査によって描き出された跡津川断層周辺の地震波速度構造図

【海溝型地震の解明】

【島弧内部の変形過程の解明】

プレートが沈み込んでいる島弧の構造を横断し，海溝から背弧海盆までを明らかにし，地震発生の場合を理解する研究を行っています。こうして，島弧内部の変形過程の解明や地震発生のメカニズムの解明をおこなっています。さらに，これらの成果をもとに，地殻・マントルのダイナミクスの解明，大陸及び島弧地殻の形成と進化の解明につなげていきたいと考えています。



海洋研究開発機構との共同研究によって得られた東海—中部の地殻構造

観測機器開発グループ（観測開発基盤センター／地球計測系部門）

メンバー 新谷 昌人（教授） E-mail: araya@eri.u-tokyo.ac.jp

内線 25821, 地震研究所2号館214号室

高森 昭光（助教）、高橋弘毅・大橋正健・勝間田明男（外来研究員）

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/people/araya/>

●最先端の観測機器で地球と惑星の内部を探查する

私たちは新しい観測機器を開発し、それを用いて固体地球の観測研究を行っています。従来にない高性能の機器を用いてこれまで知られていなかった現象を観測できれば、新たな知見が得られます。私たちのグループはレーザー干渉計など光を中心とした最先端計測技術を用いた観測機器を開発し、観測研究を進めています。

たとえば、レーザー伸縮計はレーザー干渉計を用いて高精度に地面の伸び縮みを測る装置ですが、地震計よりもゆっくりとした動きを捉えることができます。これまでの観測で地下深部で生じた地震断層の動きを明らかにすることができました。さらなる高性能化のため長大な1500mの観測装置の建設を進め、2016年に完成して観測を開始しました。また、開発中の小型レーザー地震計は高温環境でも計測することが可能で、火山帯や地下深部の震源近傍での観測を可能にします。この技術を惑星探查に使うことも検討されています。

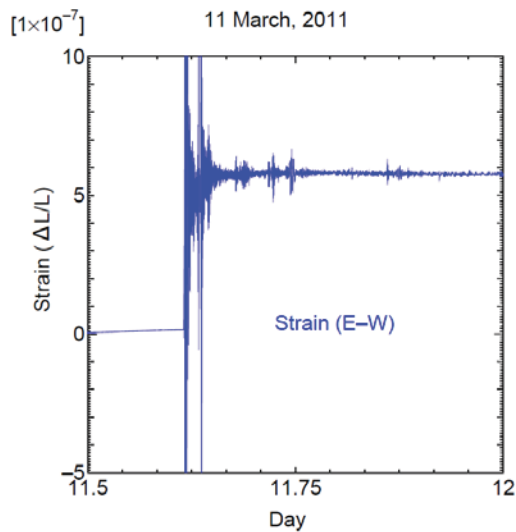
新しい観測機器の開発には最先端の技術を取り入れることが不可欠です。地球科学の研究機関はもちろん、宇宙線研究所、国立天文台、JAXAなど物理・天文・宇宙分野との共同研究により地球（+惑星）を観測するための新しい手法を開発しています。

●レーザー伸縮計

右の写真は神岡鉱山（岐阜県飛騨市）の地下1000mに設置されたレーザー伸縮計です。伸縮計は、岩盤上の2点間の距離を測ることで、地面のひずみを観測します。このレーザー伸縮計は長さが100mあります。100m離れた鏡と鏡の間にレーザー光を往復させて、距離の変化をレーザー光の波長を基準に測ります。使用しているレーザーの波長はたいへん精度が高いもので10兆分の1の割合しか狂いません。これを使えば、 10^{-13} のひずみ検出能力・・・地球と太陽との間の距離を1.5cmの精度で検知・・・があることになり、実際にこの伸縮計は世界最高の性能が得られています。



神岡鉱山（地下1000m）に設置されたレーザー伸縮計

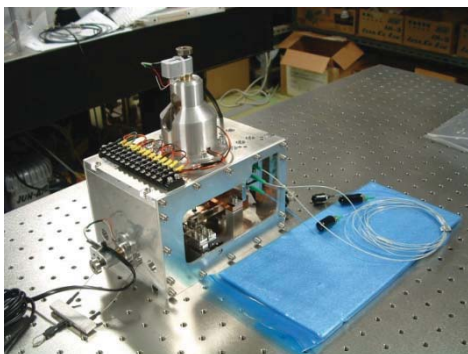


来最大のひずみ変化がとらえられました（左図）。重力波望遠鏡（KAGRA）計画と連携して、神岡の観測トンネル内に長さ 1500m のレーザー伸縮計が建設され観測を開始しました。様々な地殻活動が 100m の装置より明瞭に捉えられており、精力的に解析を進めています。

●地球中心から惑星まで

地球科学研究を進めるための根拠となるデータを得るために「観測」は不可欠です。地震計などいろいろな機器が市販されていますので、それらを使って観測することはできます。しかし研究をすすめていくと、もっと精度の高いデータが欲しい、あるいはこれまで測られたことがないあの場所で測りたいと思うようになります。未知の領域をめざすためには、新たな観測機器を開発する必要があります。

私たちが開発を進めているレーザー地震計は地下深い高温環境での精密観測を可能にします。この技術は地球の内部構造を解明するだけでなく、惑星探査への応用も検討しています。精密な地震計をいかにロケット打ち上げの振動や惑星着陸の衝撃に耐えるように作るか。着陸後に長期間安定に観測を続けるには？ 当面の課題ですが少しずつ問題を解決しています。開発に困難はつきものですが、それらを克服していくプロセスも研究の醍醐味の一つです。これまで誰も知らない地球・惑星内部を、自ら開発した最高性能の観測機器で解明したいと考えています。

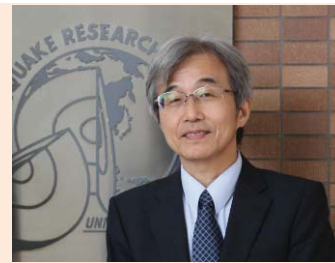


地下深部の高温環境での観測を目指して開発中の広帯域レーザー地震計。火星など惑星探査への応用も検討しています。

未知の地震現象を発見する

地震波モニタリング・スロー地震学分野教授 小原一成

地震研究所1号館-508号室, e-mail: obara@eri.u-tokyo.ac.jp



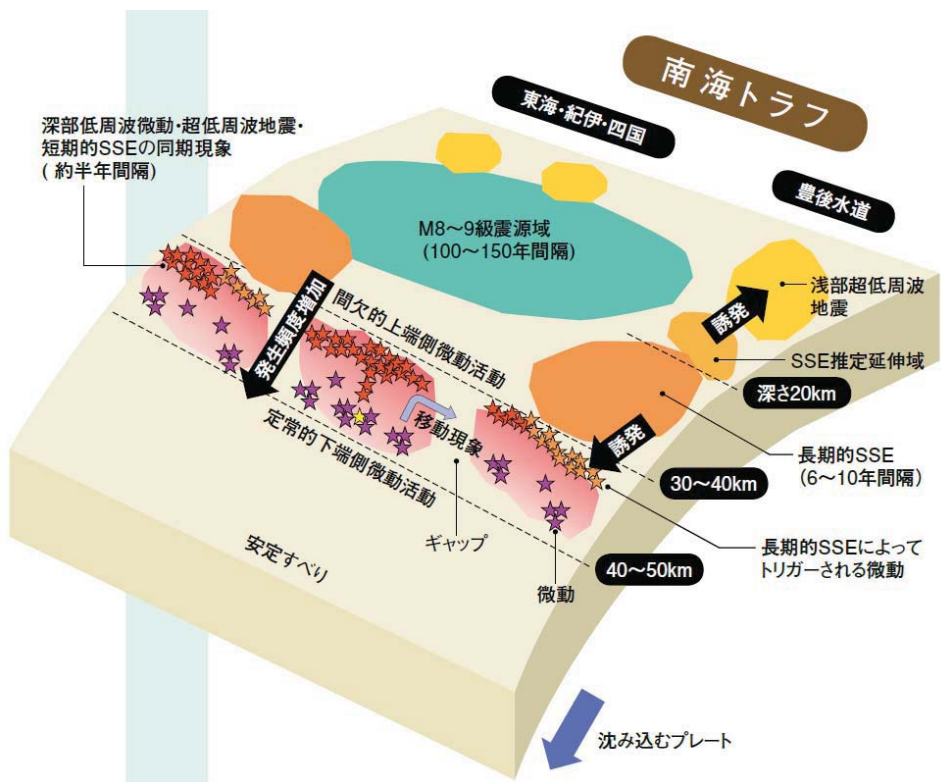
サイエンスの醍醐味のひとつは、新たな現象を発見し、原因を解き明かすことです。地球には未知の現象がたくさん残されていますが、我々は、地球表面で観測される地震波形データからスロー地震などの様々な現象を発見してきました。その成果は、Scienceなど多くの論文で公表され、世界的にも高く評価されています。本研究室では、これらのスロー地震や特徴的な地震波の成因を探るとともに、多様な解析・可視化手法の開発を通して、新たな現象発見の醍醐味を皆さんと一緒に味わいたいと思っています。

■さまざまなスロー地震の発見と説明

西南日本にはフィリピン海プレートが沈み込み、陸側プレートとの境界で約100年間隔で巨大地震が発生します。その震源域の浅部と深部で、「スロー地震」と呼ばれる、通常の地震に比べると長周期の振動に卓越する揺れ、あるいは揺れを伴わない地殻変動現象が、この10数年間で発見されてきました。

これらのスロー地震は「連動」するなど、相互作用が観測されており、その影響は巨大地震の震源域にも及び可能性があります。実際に東北沖では2011年の東北地方太平洋沖地震の直前に、その破壊開始点に向かって伝播するスロー地震が検出されました。

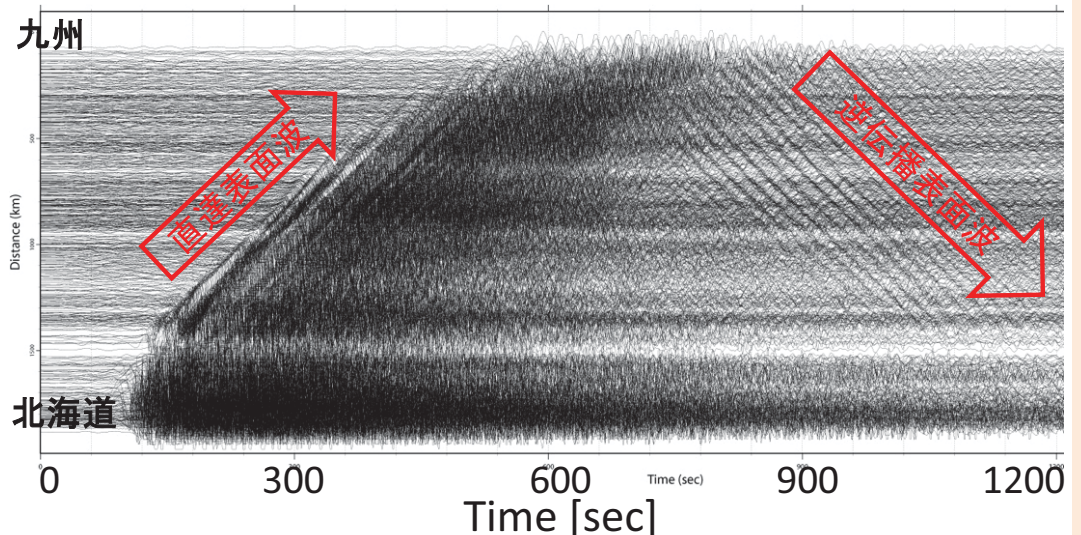
以上のように、スロー地震が巨大地震の発生に何らかの形で関わっているものと考えられます。



■未知なる地震波動の発見と説明

地震波動には、まだ解明されていない現象が多数存在しています。そのため、様々なアプローチでモニタリングすることで、それらの現象を顕在化させ、その原因を探ることもこの研究室の重要なテーマです。

右は北海道で発生した地震の波動が九州から跳ね返ってきた「逆伝播表面波」で、海底山脈が反射源と解釈されました。



研究グループ



馬場慧（修士2年）

スロー地震の一種で、卓越周期が数十秒の超低周波地震（VLFE）に興味を持ち、広帯域の地震観測網を使ってVLFEの検出を行っています。以前は、西南日本の巨大地震発生帯より深部のVLFE活動の時空間分布を調べました。現在は、東北沖で発生するVLFEをターゲットにして解析を行っています。



疋田朗（修士2年）

スロー地震の一種である低周波微動に興味を持っており、M1までは四国西部のクラスタ内における微動活動の時空間的分布を調べていました。現在は、そのクラスタに近い測線のアレイデータを用いて、50 km程度（プレート境界面が分かるくらい）の深さまでの内部構造を調べる研究を行っています。



栗原亮（博士2年）

全国で発生する深部低周波地震に興味があり、昨年までは遠地地震によって誘発されるプレート境界で発生する深部低周波微動についての研究を行っていました。現在は火山地域を中心とした内陸で発生する深部低周波地震の解析を行い、そこから噴火などの火山活動や近傍での通常の地震などとの関連を調べる研究を行なっています。



田中優作（研究員）

去年の3月に北海道大学で博士号を取得後、台湾の中央研究院という所に武者修行に行き、今年度から本研究室に加わったポストドクです。これまでは主に地震と重力の関係性についての研究をしていましたが、本研究室ではまた違ったことに取り組む予定です。この独特な(?)バックグラウンドを活かして、何とか「スロー地震学」の発展に貢献したいなあと、日々模索しています。



竹尾明子（助教）

スロー地震はどこで、どのように起こっているのか。広帯域地震計による観測、震源過程や地下構造の推定を中心に研究を行っています。その他、火山起因のシグナルなど様々な地震計記録を見えています。一緒に観測・データ解析しませんか？



OB&OG



金谷希美
@INPEX



加納将行
@東北大



案浦理
@気象庁



前田拓人
@弘前大



Kevin Chao
@NW Univ.



Chastity Aiken
@U. Texas



高木涼太
@東北大



武村俊介
@防災科研

海底観測から解明する海洋プレート沈み込み

観測開発基盤センター 教授 篠原雅尚 mshino@eri.u-tokyo.ac.jp

日本列島に代表される島弧海溝系は、地球上で最も活動的な領域の一つであり、海洋プレートの沈み込みが各種の現象を引き起こしていると考えられています。海洋プレート沈み込みの詳細を明らかにすることは、島弧海溝系における諸現象を理解するだけでなく、社会生活に重要な地震発生予測などを考える上でも重要です。しかし、沈み込み帯の殆どが海域となっており、その詳細を明らかにするためには、沈み込み帯直近である海域での観測が必要です。観測開発基盤センター海域観測では、海底地震計や海底水圧計を用いて、**海域における地震・地殻変動観測からプレート境界における地殻活動や構造の研究**を行っています。近年は、トラフ付近で低周波微動や超低周波地震などが発見され、海底観測が期待されています。また、観測を推進させるための海底観測測器の開発・改良も行っています。

自己浮上式海底地震計

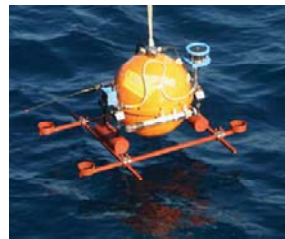
- 現在海域での観測に用いられている代表的な地震観測測器
- 長期観測型は地震研究所で開発され、現在の観測では主に使用されている

短期観測型海底地震計



最初に開発された自己浮上式海底地震計、現在はデジタル収録方式
観測期間 約3ヶ月 43cm ガラス球

長期観測型海底地震計



地震計センサーを高性能にし、1年間海底で連続観測可能
50 cmチタン製耐圧容器

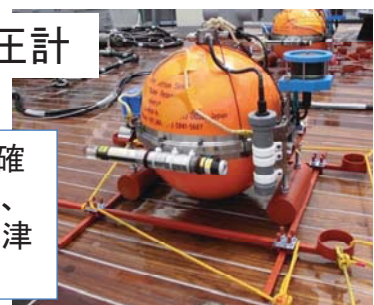


水圧計付広帯域海底地震計

広帯域地震観測に加え、精密水圧計による海底上下変動も観測可能に

海底水圧計

海底で水圧を正確に測ることにより、海底上下変動や津波などを観測



海底地震計の設置

海底での観測

海底地震計の回収

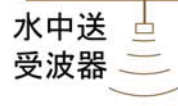
海底地震計の浮上

約1.5m/sで自由落下



海底

地震

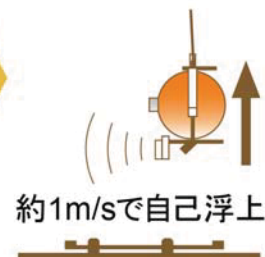


切離指令

水中送受波器

距離測定

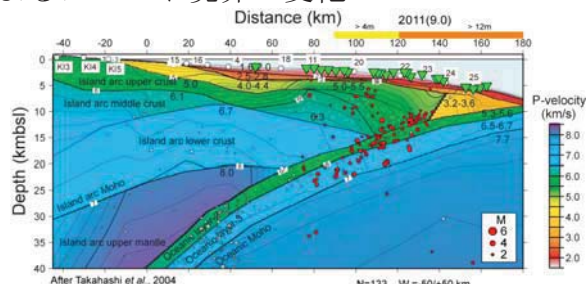
約1m/sで自己浮上



海底地震計を用いた主な現在の研究テーマ

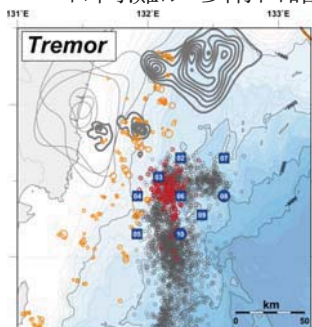
■ 東北沖地震震源域の地震活動モニタリングによるプレート境界の変化

2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震は、プレート境界で発生すると思われる最大規模の地震の一つです。地震時にプレート境界が大きく滑り、地震活動の様式が地震を境に変化しました。特に、プレート境界付近の活動が低下しました。プレート境界は、その後、徐々に地震前の状態に戻ると考えられており、それに伴い、地震活動の様子も変化すると予想されています。そこで、地震発生 5 年後の現在も、余震観測から引き続き、長期型海底地震計を用いた海底地震観測を継続中です。



2013 年から 2014 年における岩手沖の地震分布 (断面図)。地下構造調査の結果と重ねてある。プレート境界で再び地震が発生しているように見える。

■ 日向灘から南西諸島海溝域における低周波微動観測



2014 年に発生した低周波微動の震央 (赤)。灰色は、2013 年の活動。

日向灘では、トラフ付近で低周波微動や超低周波地震が発生していることが知られていましたが、発生域直上での観測が行われておらず、その詳細は不明でした。2014 年から、長期観測型海底地震計を用いた観測を開始し、微動活動の長期にわたる詳細をとらえることに成功しました。これらの活動は、繰り返して同一の場所で発生しており、浅部でのプレート間固着と関係していると考えられます。トラフ付近はプレート境界が浅く、地震時に大きく滑ると津波波源域となることが想定されており、プレート境界の性質を明らかにすることは重要です。

■ 伊豆小笠原西之島火山噴火活動モニタリング

西之島は伊豆小笠原の火山島であり、2013 年 11 月に噴火を開始し、その後溶岩流により、島が拡大しました。しかし、遠方の無人島であり、噴火により上陸が禁止となったために、連続観測が難しくなりました。そこで、2015 年 2 月に長期観測型海底地震計を西之島近海に設置して、火山活動の把握を開始しました。この観測により、長期間の連続モニタリングが可能となりました。現在も観測中ですが、回収された記録には、西之島火山の噴火に伴う特徴的な波形が記録されており、その波形出現数の増減から噴火の活動度を推定することができました。今後記録の詳細な解析が期待されています。



2015 年 10 月に、西之島に再設置される長期観測型海底地震計

■ 海底観測測器の開発研究

海域観測では、観測に用いる測器は、一般には販売されていませんので、自分たちで作る必要があります。この一例が自己浮上式海底地震計であり、現在も開発は継続中です。さらに、海底でのリアルタイム観測の高度化のために、電源を陸上から供給する海底光ケーブルを用いた地震津波観測システムを開発しました。このシステムは、インターネット技術と最新半導体技術を用いて、信頼性を高く保ち、高精度なデータが取得可能なシステムです。この新しいシステムは、2015 年 9 月に東北地方太平洋地震震源域 (釜石沖) に設置されました。新しい測器の開発は、これまで得られなかった種類の観測データを取得し、新しい現象の発見、詳細な現象の把握を目的としています。このように、新しい観測測器開発も研究テーマの一つです。



新しいケーブル式海底地震計システムのために開発したエレクトロニクス部。

観測地震学 ～自ら観測したデータで研究する～

観測開発基盤センター 酒井 慎一

地震研究所 1 号館 507 号室 03-5841-5745

coco@eri.u-tokyo.ac.jp

なぜ、そこで地震が起きたのか？ 地震が発生することに、どんな理由があるのだろうか？

自ら考え、自ら観測し、自ら解析することで、地震の新しい理解をみつけることが目標。

- ・新たな地震観測データを取得する力
- ・地震観測データの裏に隠れている本質を見抜く力
- ・地震観測データから総合的な物理モデルを創り出す力

この 3 つの力を身につけ、新しい地震観測研究を広げていく。

最近、国の基盤観測網が充実し、地震観測データが容易に取得できるようになってきた。さらに、地震研究所には、高品質な観測データが大量に存在し、それらを実際に手に取って解析に用いることが可能である。この利点を最大限に利用し、地震観測データの持つ力を実感するとともに、自らが地震観測に参加することにより、地震観測データの質や重みを体感できる。地球で起きている現象（地震）の何を知りたいのか、その地球物理学モデル構築のためにどんな理論を導けば良いのか、そのためにはどんな解析が適しているのか、どんな観測データが必要なのか、どんな観測をすればそれが得られるのか、どのような観測技術を開発すべきなのか等を広い視野でとらえる。自ら考え、計画し、国内外の研究者たちと協力して進められるような、次世代の地震観測研究を切り拓く研究者を目指してほしい。

● 最近の地震観測例（継続中）

- (1) 島根県西部の地震の余震観測（2018- ）（図 1）
- (2) 長野県小谷村における臨時地震観測（2016- ）
- (3) 2011 年東北地方太平洋沖地震の合同観測（2011- ）
- (4) 首都圏地震観測網 MeSO-net による研究プロジェクト（2002- ）
- (5) 栃木県日光市周辺・伊豆半島東部の群発地震観測（1993- ）

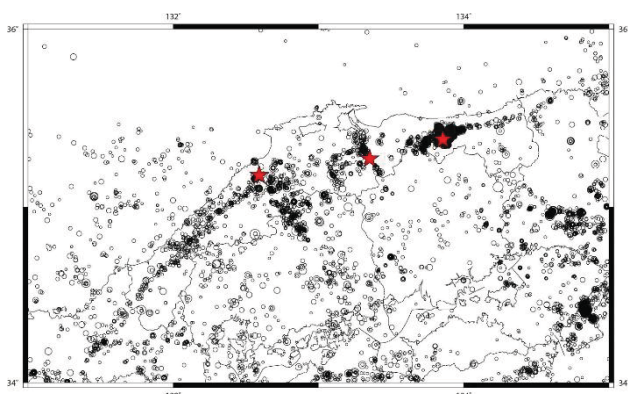
● 最近行われた地震観測研究

- (1) 鳥取県西部地震震源域における超稠密地震観測（2014-2018）（図 2）
- (2) 熊本県・大分県における臨時地震観測（2016-2018）
- (3) 神奈川県箱根山における広帯域地震観測および広域地震観測（2015-2017）
- (4) ネパールにおける 2015 年ゴルカ地震の観測（2015-2017）
- (5) 長野県白馬村での臨時地震観測（2014）

● 新たな地震観測技術の応用開発

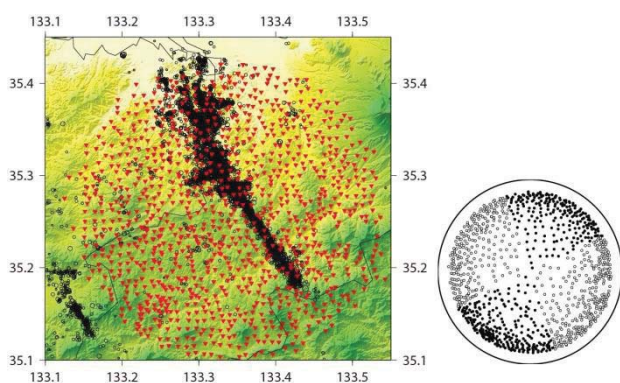
- (1) 汎用的な利用が可能な稠密地震観測網の開発研究（2014- ）（図 3）
- (2) 自動販売機を利用した環境観測技術の開発（2011-2013）
- (3) 超小型時刻同期システムを導入した地震計の開発（計画中）

図1 島根県太田市での臨時地震観測



2018年4月9日に、島根県大田市でM6.1の地震が発生し、震度5強が観測された（左の★）。翌日、震源域直上の6ヶ所に臨時観測点を設置し、さらに京大、九大と共同で、約50点の観測点を追加した。周辺に活断層は確認されていないが、連なる直線状の震源分布の最東端に位置し、それらの関係を明らかにすることから内陸の地震発生場を理解し、地震発生に至るメカニズムを解明することがねらいである。すぐ南には活火山（三瓶山）もあり、地震活動と火山との関係を明らかにすることも目指している。

図2 鳥取県西部での超稠密地震観測



地下の応力状態を知るために地震の発震機構解の分布を利用することがあるが、その精度向上のために世界最高超稠密な地震観測網を行った（0.1 満点計画）。場所は、2000 年鳥取県西部地震の震源域周辺で、約 1km 間隔で 1000 ヶ所に設置した。地震から 18 年が経過しているが、まだ多くの余震が発生していて、それらの分布やメカニズム解を高精度で決めることが可能である。観測点を稠密にしたことで、地下の構造解析に対する精度も向上し、細かな地質に対応した構造の違いや地震による揺れの大きさの不均質も高分解能で得られ、実際の被害分布との詳細な比較が可能である。

図3 汎用的な利用が可能な地震計の開発



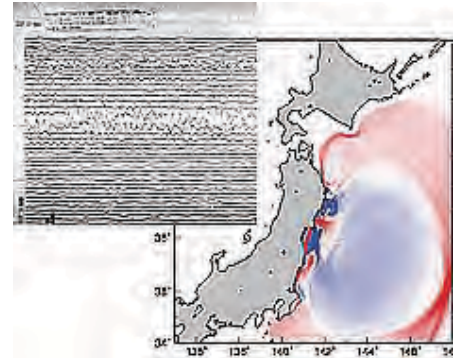
小型簡便安価な地震計の開発。各家庭に地震計があれば、その建物がどの程度揺れたのかを知ることができる。大地震発生後、その記録によって、住み続けても良い緑色信号なのか、補修が必要だけどもしばらく住んでも良い黄色信号なのか、直ちに退去すべき赤色信号なのかが、建築診断士等の調査を待たなくても、自分で判断することができるようになる仕組みを研究している。

そのために、小型で安価な地震計を開発している。無線を利用することで、リアルタイムでのデータ収集が可能になり、ケーブル工事の必要がなく、設置可能範囲が拡大した。現在は、消費電力を抑えることが課題である。低出力の電波によって隣の観測点へデータを送り、それをまた隣へ伝送するといったバケツリレー方式で拠点観測点へとデータを集める手法を開発中である。

地震火山情報センター・佐竹研究室では、以下のような研究を行っています。

地球物理学的観測データに基づく現代の地震の発生過程の解明

世界中で発生した巨大地震について、広帯域地震計に記録された長周期表面波・実体波、震源近傍で記録された強震動データ、GPSや水準・三角測量などの測地データ、津波データ（波形や遡上高）などを組み合わせて、その震源過程を明らかにします。これによって、津波地震、スロー地震など、異常な地震の発生メカニズムも明らかにします。このほか、統計に基づく地震発生予測モデルの時空間的な高分解能化、高精度化のための研究と、それらを評価する仕組みの研究を行っています。



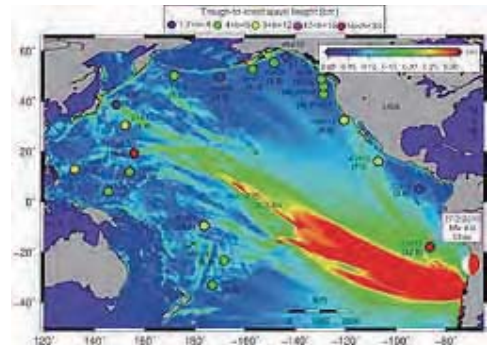
古地震研究と地震の発生・被害予測

巨大地震はその繰り返し間隔が長いことから、地球物理学的な計器観測記録のみならず、歴史資料に基づく歴史地震学的研究手法、海岸地形や津波堆積物などの地形・地質学的研究手法、さらにはタービダイト分析などの海洋地質学的手法も併せて、過去の地震像を描いていくことが必要です。学内外の研究者・研究機関と協力し、このような「計器観測によらない地震学」を推進していきます。また、過去の地震データに基づいて将来のモデルを構築し、地震動や津波、それによる被害の予測を行います。このように、地質学・自然地理学・歴史学・土木工学などと連携して研究を行っています。



国際的な研究

発生頻度の低い巨大地震を調べるためには、日本のみならず海外の調査・研究も重要です。このため、海外の研究者との共同研究も行っています。大学院生・研究員の他に、毎年、多くの外国人教員や研究生が数か月滞在します。このため、研究室のセミナーは原則として英語でおこなっています。

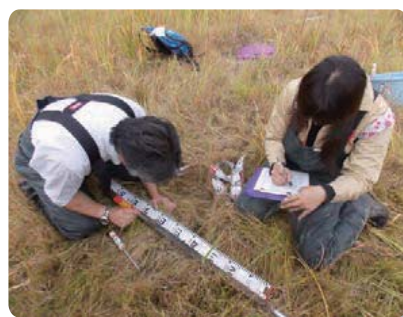


Members of our laboratory



佐竹健治（センター長・教授）

地震研で大学院学生として学んだあと、東工大、カリフォルニア工科大学、ミシガン大学、地質調査所、産業技術総合研究所を経て、東大に戻りました。この間、地震波・津波の解析による震源過程の研究、古地震調査、海洋調査などを行ってきました。手段によらず地震を研究したい、また国際的に活動したい、という意欲的な学生を歓迎します。



五島 朋子（特任研究員）

津波堆積物調査を行い、古地震の発生履歴復元に挑戦しています。世界中の『津波全史』を解明することが夢です。地質学的調査・堆積物の分析に興味のある方はぜひ佐竹研究室へいらして下さい。

原田智也（特任助教）

現在、津波の数値シミュレーションや歴史資料に残された記録の解読などにより、過去に南海トラフ沿いで発生した巨大地震について研究しています。本年度から小笠原諸島における津波痕跡調査も始めます。



Lingling Ye (特任研究員)



My research interests include earthquake physics, controlling factors for ground shaking, and structure of the Earth's deep interior. I have studied shallow and deep earthquake rupture processes using various techniques, such as back-projection imaging, finite-fault inversion, spectrum analysis, and dynamic simulations. To better understand seismic hazards, I study strong ground shaking records for individual events and quantify site response.

Mulia Iyan (特任研究員)

Presently I am working on an optimization of tsunami observing systems to accurately characterize the tsunami source. I utilize a combination of numerical simulations and heuristic optimization methods to determine the optimal number and spatial distribution of observation points. The research aims to provide a blueprint for deploying future tsunami observing systems.



山田 昌樹 (特任研究員)

地質学をベースとして、過去に発生した津波の研究をしています。地層中に残された津波堆積物を調査することで、数千年前まで遡って地震・津波の発生履歴を知ることができます。これまでに、別府湾の海底活断層地震に伴う過去 7000 年間の津波履歴や日向灘で 4600 年前に発生した津波履歴を解明しています。今年度からは、7300 年前の鬼界アカホヤ噴火に伴う巨大津波の研究に取り組みます。



Yifei Wu (博士3年)

My current research is about free oscillation of tsunami (eigen-problem). I am making a high resolution numerical method and planning to conduct it first to Japan Sea area. I am also interested in free oscillation of the earth. Welcome to our lab.



Wang Yuchen (修士2年)

津波データ同化について研究しています。津波警報システムのためにデータ同化手法の速度と精度を向上させます。さらに、地球物理の時系列データ解析について興味を持っています。ようこそ！お越しください。

楠本 聡 (博士3年)

福島県の津波堆積物から日本海溝で発生した巨大地震の履歴と地震の規模を推定しています。最近では堆積学だけでなく、堆積物運搬シミュレーションにも挑戦中です。津波に興味のある方は一度研究室訪問してみることがオススメです！



Tungcheng Ho (博士3年)

My current study is the tsunami source inversion and trans-ocean tsunami simulation for 2011 Tohoku and 1960 Chilean tsunami. When I was in Taiwan, I worked for tsunami hazard and inundation assessment. Welcome to our laboratory.



三反畑 修 (博士2年)

海底火山で起こった小さな地震によって発生した大きな津波の原因を探るため、津波・地震・火山の広い知見を探求し研究をしています。佐竹研はとても自由に研究活動ができます。さらに国際色が豊かで、海外の友人もたくさん増えます。人生が豊かになります。

[観測固体地球科学分野]

地震火山情報センター教授 木下正高

masa@eri.u-tokyo.ac.jp

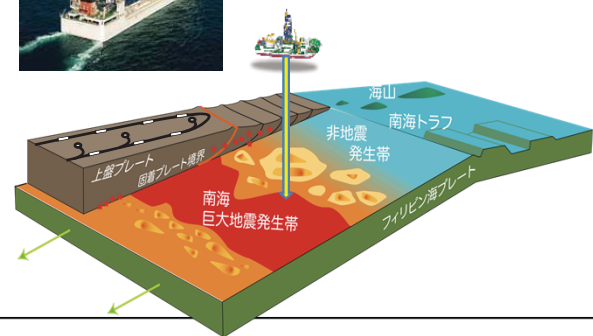
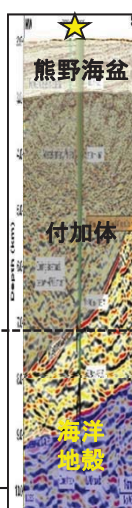
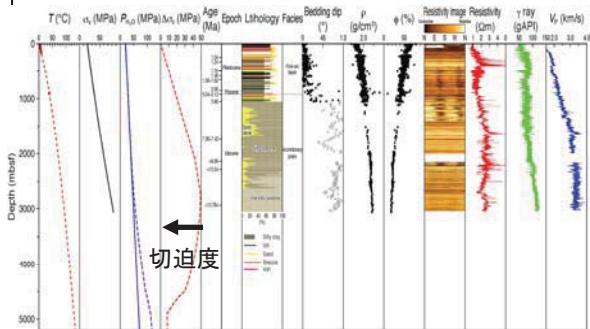
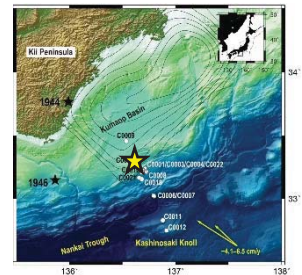
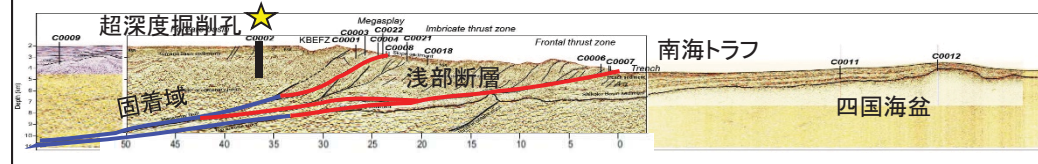
地震研究所1号館404号室

Tel 03-5841-5809



IODP超深度掘削による海溝型巨大地震震源域の「場」に関する研究

海溝型巨大地震の発生機構解明のため、紀伊半島沖の南海東南海地震断層固着域への科学掘削を主導しています。掘削による現場計測により、断層のその周辺の応力・水圧・温度等の情報を得て、有限要素法や粒子法により地震発生帯の場の再現と時間発展の描像を目指します。今年の秋から、いよいよ海底下5kmの断層到達を目指した最終掘削を行います。興味ある学生さんの参加をお待ちします。一緒に「現場」を覗きましょう。

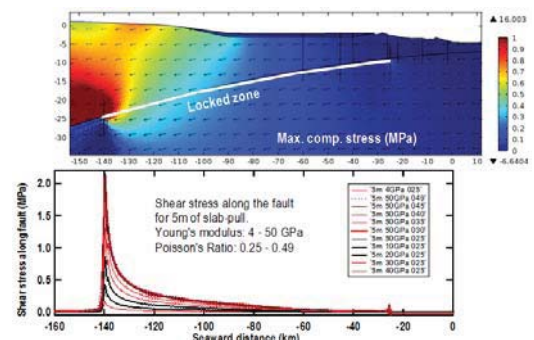


断層固着域浅部まで、海底から5000mを掘削
現在3000mまで到達しており、応力場から推
定された断層レジームはいまだに正断層的。

地震準備過程で蓄積される最大せん断応力の推定 (Kinoshita et al., 2013 Tectonophysics)

クーロン破壊モデルによれば、プレート境界地震における破壊(地震発生)を規定するのは、せん断応力、上載荷重、有効摩擦係数(間隙水圧を含む)である。このうち、プレートの沈み込みにより断層面上に蓄積される、せん断応力の大きさを推定しました。熊野灘沖南海トラフにおいて2次元弾性体モデルを構築し、地震発生間隔(~100年間)に海洋プレートが5m沈み込むとして、断層固着域上に蓄積される最大せん断応力値を評価しました。地震準備期間の応力蓄積量は固着域の最深部(downdip側の縁)で最大になりますが、それが地震発生時の(静的)応力降下量(3-4MPa)にほぼ等しいと想定すると、最大せん断応力を生じるのに必要な媒質のヤング率・ポアソン比は、既往研究による南海トラフ域の V_p 、 V_s から計算される値と整合的であることを示しました。

熊野沖南海トラフの固着域におけるせん断応力蓄積量。
Locked zoneで上盤と下盤の相対変位=0にし、海洋プレート運動5m、陸側プレート左端の変位=0mを与えて計算した。



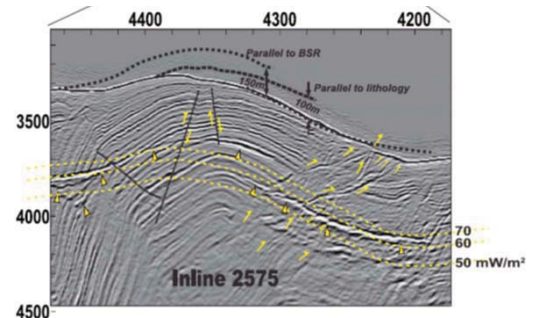
Kinoshita, M., Tobin, H.J. (2013), Interseismic stress accumulation at the locked zone of Nankai Trough seismogenic fault off Kii Peninsula, Tectonophysics, 600C, 153-164.

メタンハイドレート下限深度異常から断層活動の推定 (Kinoshita et al., 2011 G-Cubed)

南海トラフなど陸に近い海底堆積物中には、生物が分解してできたメタンが大量に存在します。メタンの生成分解過程は主に温度・圧力で規定されるため、深海底では海底から数百mまではメタンは氷(ハイドレート)として存在し、それ以深はガスになります。このためハイドレート下面深度(音響的反射面=BSRとして検出できます)はおおむね海底に平行です。ところが南海トラフ付加体斜面では、断層をはさんでBSRがずれている場所がありました。断層活動や堆積・浸食作用による急激な深度(圧力)変化が1万年以内に起きると、新たなハイドレート条件に熱的に適応できず、過渡的な現象としてこのようなBSR不連続が観測されうること示しました。

南海トラフには3次元音波探査データが存在します。それを詳細に検討することで、このようなBSR異常などから断層活動の履歴を推定することが可能になります。

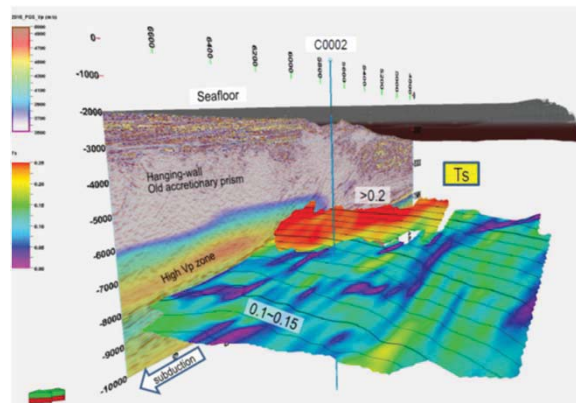
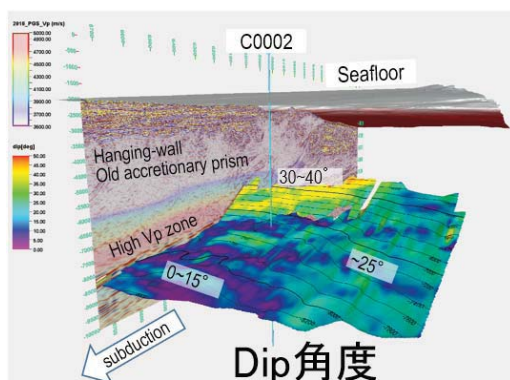
南海トラフ前弧斜面スラスト(黄色矢印)付近のBSR分布(△)。逆断層を境にBSR面がずれていることが明瞭に見て取れる。黄色点線は、深部から一定の熱流量を与えた時に推定されるBSR分布。



Kinoshita, M., G. F. Moore, and Y. N. Kido (2011), Heat flow estimated from BSR and IODP borehole data: Implication of recent uplift and erosion of the imbricate thrust zone in the Nankai Trough off Kumano, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 12, Q0AD18.

南海トラフ地震発生帯断層の形状のばらつきが、滑り傾向度合いに与える影響 (Kinoshita et al., under review in PEPS)

地震破壊条件は、地中のある点に働く応力とその点の強度から決まります。プレート境界のような既往断層(弱面)の滑りやすさ(slip tendency)は、その面に働くせん断応力と垂直応力の比で決まりますが、その比は断層面の傾斜角に依存します。つまり断層形状が場所によって変動すると、滑りやすさもまた場所によって変動するはずで、3次元地震探査によって、南海トラフ地震波性帯プレート境界断層の形状が詳細に見えてきました。断層形状を詳細にマッピングし、その傾斜角などから断層面上での「滑りやすさ=slip tendency」分布をマッピングしてみました。



(左) 紀伊半島沖南海トラフ地震発生帯断層の形状に、傾斜角をカラーイメージで重ねたもの。図の奥(海側)で断層が立っていることが分かる。また手前の傾斜が小さい部分に、筋状の窪みが見える。

(右) 同断層に、滑り傾向(slip tendency)をカラーイメージで重ねたもの。奥側の傾斜が急のところでは滑り傾向が大きいことが分かる。

Kinoshita, M., G. Kimura, and S. Saito (2014), Chapter 4.4.2 Seismogenic Processes revealed through The Nankai Trough Seismogenic Zone Experiments: Core, log, geophysics and observatory measurements, In Ruediger Stein, Donna K. Blackman, Fumio Inagaki, Hans-Christian Larsen (eds) *Developments in Marine Geology Vol 7: Earth and Life Processes Discovered from Subseafloor Environment*, Elsevier, 641-670.



GUIDANCE FOR ENTRANCE EXAM

2018.06.02 (SAT)



東京大学 地震研究所

Earthquake Research Institute

The University of Tokyo